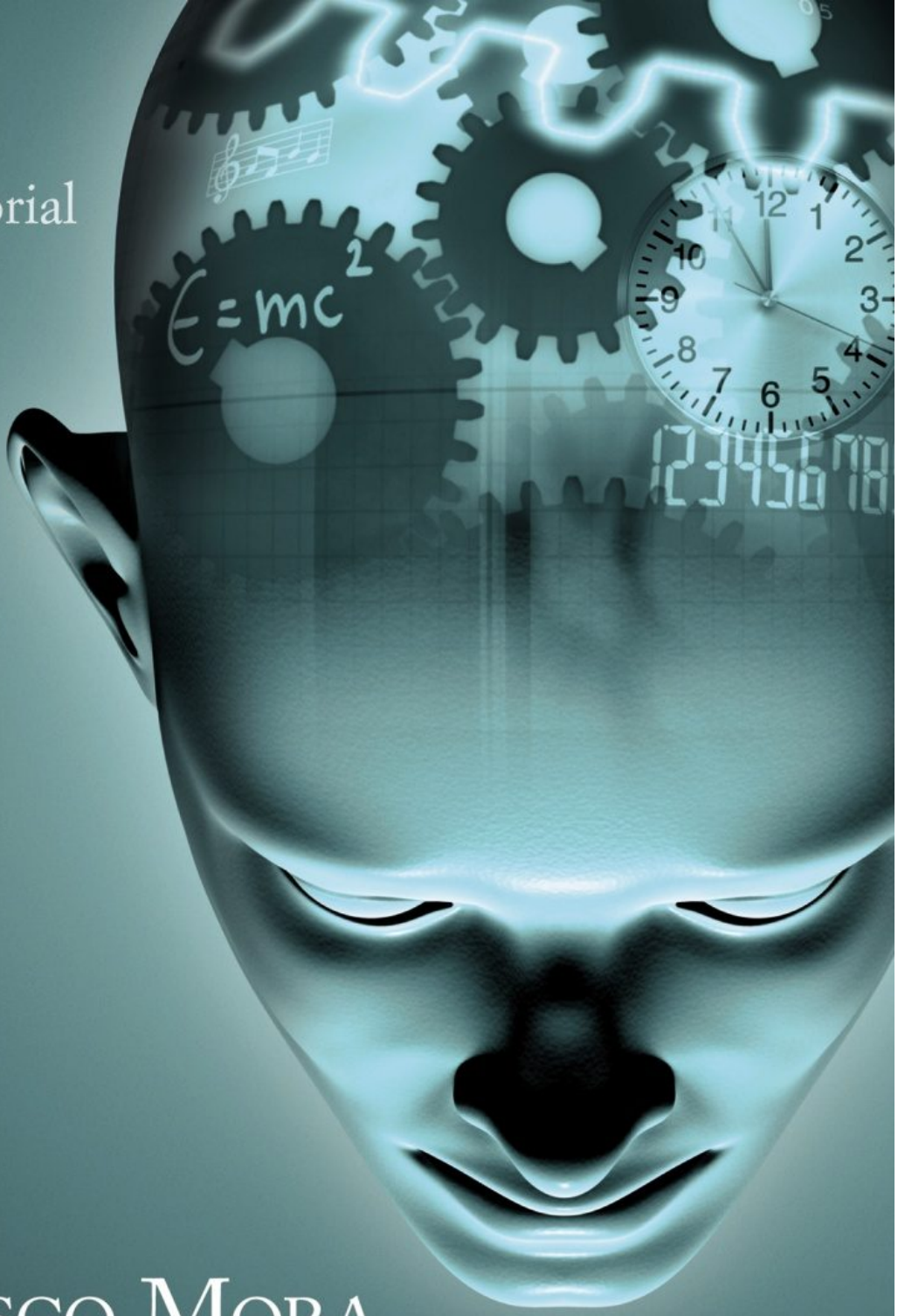
Alianza Editorial



Nueva edición
actualizada

FRANCISCO MORA

El reloj de la la *sabiduría*

NEUROCIENCIA

TIEMPOS Y ESPACIOS EN EL CEREBRO HUMANO

FRANCISCO MORA

El reloj de la sabiduría

TIEMPOS Y ESPACIOS EN EL CEREBRO HUMANO

Alianza Editorial

Francisco Mora

EL RELOJ DE LA SABIDURÍA

TIEMPOS Y ESPACIOS EN EL CEREBRO HUMANO

Alianza Editorial

Índice

Prólogo a esta edición

Prólogo

A modo de introducción. El reloj de la sabiduría

1. El cerebro humano. Casi mil millones de años de historia evolutiva

- Al principio fue la célula
- Los códigos del sistema nervioso ya se encuentran en la célula
- La protoneurona
- Evoluciones paralelas
- Un ensayo de cerebro
- El origen del cerebro o cómo acertar con un modelo
- El cerebro deja atrás al cuerpo
- ¿Qué es el cociente de encefalización?
- Temperatura, olfato y oído
- ¿Evolución o revolución?
- ¿Por qué una esfera y no un cilindro?
- La segunda gran revolución del cerebro
- Calor, memoria y cultura
- Progresión, regresión y reorganización del cerebro humano
- ¿Ha concluido la evolución física del cerebro humano?

2. La construcción del cerebro humano. Cien años de historia individual

- De la incertidumbre a la singularidad
- Pero... ¿sabemos qué es un gen?
- El medio ambiente no es sólo sol y aire
- El medio ambiente se torna morfología y función
- La formación del cerebro humano: una aventura
- Cerebro por fuera
- Cerebro por dentro
- Las neuronas emigran desde sus lugares de nacimiento
- Somos muchas, organicémonos
- El cincel del escultor
- ¿Envejece el cerebro?
- Al final, algo más sobre genes y medio ambiente

3. Las ventanas plásticas o los tiempos críticos del desarrollo del cerebro humano

Un primer encuentro con el mundo
Las ventanas que nos abren al mundo de los sentidos
Las ventanas de compensación
El encendido de la conducta
Los niños que hablaban el idioma de Dios
Un niño llamado Johan
Genie
Los tiempos del computador motor
Los tiempos críticos de la adolescencia
Las ventanas de la enfermedad
Los genios
Llegando a alguna conclusión

4. Emoción o planificación de la supervivencia
Definamos qué son emociones y sentimientos
Emoción y comunicación
Sentimientos y perplejidad
Los siete mandamientos de las emociones (Rolls, 1999; Mora, 2000)
Rastreando los caminos cerebrales de la emoción
Del ojo al análisis de la corteza cerebral
De cómo un objeto visto se torna bueno o malo
El interior de la «máquina» emocional
El fuego emocional
La conciencia emocional de lo divino

5. La mente es el tejido cerebral cosido con hilos de tiempo
El problema
Un paréntesis
El cerebro produce la mente: los inicios
La mente es el cerebro
¿Qué dice la Neurociencia actual acerca de la mente? Una primera aproximación
La piedra Roseta
Un intento científico de unificación
A la búsqueda de los tiempos de la mente
«Abajo-arriba», «arriba-abajo»
Un final entre cilindros y columnas

6. Los tiempos cerrados y los espacios abiertos de la conciencia
Problemas fáciles y problemas difíciles
Los considerandos filosóficos de Searle o cómo estudiar la conciencia científicamente
Una reflexión

Los cinco presupuestos de Crick o cómo anclar la conciencia al cerebro
Algunos considerandos sobre el tiempo, el espacio y la conciencia. De lo único y singular a lo diverso y diferente
De la conciencia sensorial a la conciencia emocional
Circuitos cerebrales y conciencia: la visión como ejemplo
Los tiempos cerrados y los espacios abiertos de la conciencia: las hipótesis de Crick, Edelman y Llinás

7. La teoría del conocimiento unificado
Niveles, puentes y emergencias
El agua es un buen ejemplo
Niveles elementales
De más abajo a más arriba
El proyecto cerebro humano
Reconsiderando la organización de niveles: un paréntesis
De las Ciencias a las Humanidades
Hacia la unificación del conocimiento

8. Lo que nos enseña el cerebro: del «conócete a ti mismo» al «hazte a ti mismo»
De conocer a construir
Los cambios y los recambios del cerebro
Yo medito, yo cambio
Algunas reglas de oro

9. ¿Qué nos hace humanos?
¿Qué nos hace humanos?
Mirando hacia atrás
Ser los otros
Ciencia y cultura
Mirando hacia arriba

10. Y más allá

Glosario

Bibliografía

Créditos

A Ana María

PRÓLOGO A ESTA EDICIÓN

El reloj de la sabiduría, desde su aparición en el año 2001, ha tenido una magnífica acogida por los lectores. Prueba de ello han sido las muchas reimpresiones que ha tenido el libro desde entonces. De hecho, esa acogida es el refuerzo que a uno le lleva a seguir pensando y escribiendo sobre ese significado, que yo creo profundo pero desconocido, que representa saber cómo funciona el cerebro humano.

Han pasado siete años y Alianza Editorial ha considerado que era el momento de lanzar una segunda edición revisada del libro. Y eso es ahora esta obra que, aparte de un nuevo capítulo, incorpora una bibliografía actualizada, así como la rectificación de algunos conceptos de la edición original. En su tiempo, *El reloj de la sabiduría* fue ya un libro estructurado con mimo, tanto en su argumentación como en la cuidadosa recolección de los datos disponibles hasta entonces acerca del cerebro. Sin embargo, la Neurociencia ha continuado progresando, a lo largo de este tiempo, sobre todo la Neurociencia cognitiva. Expresión de ello han sido los libros que siguieron a *El reloj de la sabiduría* y publicados por esta misma editorial, en particular el último, *Neurocultura*, que también ha sido recibido muy positivamente por los lectores.

En el nuevo capítulo, añadido al final del libro de esta segunda edición, se reflexiona sobre esa nueva perspectiva de la Neurociencia teórica que son los códigos o tablillas que el cerebro trae al nacimiento. Tablillas o moldes expresados en la estructura de redes neuronales genéticamente programadas y sobre las que el entorno familiar y social, y con ello la cultura en que se vive, escriben los mensajes que finalmente construyen cada ser humano.

Me gustaría creer que *El reloj de la sabiduría*, en esta segunda edición, va a seguir siendo el libro útil y de interés que introduzca a muchos lectores en el conocimiento «fácil» de ese órgano maravilloso y complejo que es el cerebro. A ellos, a mis lectores, quiero expresar aquí mi sincero agradecimiento por haberme mostrado, bien personalmente en las charlas o conferencias, bien por correo electrónico o reseñas y comentarios, su aprecio hacia este libro. Lectores, que he podido comprobar, pertenecen a un amplio espectro social que comprende desde profesores y estudiantes universitarios, en casi todas las áreas del conocimiento, hasta personas ávidas y curiosas por conocer el origen de su cerebro y cómo éste funciona. Y una vez más gracias a Eladio Mayo, Valeria Ciompi y Cristina Castrillo de Alianza Editorial, siempre abiertos y atentos a los avatares de la cultura en nuestro país.

Madrid, febrero, 2008

PRÓLOGO

Este libro es una larga reflexión sobre ese maravilloso logro de la naturaleza que es el cerebro humano. Un logro con el que esa misma naturaleza ha aflojado las cadenas que atan a los individuos biológicos al dictado de sus propios genes. De ello y de otros temas, entre los que se encuentran el origen del cerebro, la emoción, la mente y la conciencia, trata este libro.

Esta serie de ensayos repasan y actualizan temas que inciden de lleno en esa encrucijada en la que se encuentran las Ciencias y las Humanidades. Precisamente las Neurociencias representan, o así lo creo yo, ese puente entre estos dos mundos del saber. Un puente tan necesario como olvidado para poder dar al ser humano un anclaje firme al mundo físico y biológico en el que vive.

Pienso que si esto último lo puede hacer la Neurociencia es porque utiliza las ciencias «duras» del saber por un lado, pero por otro necesita de las humanidades para encontrar muchas veces explicaciones a sus resultados. Ése es particularmente el caso de las Neurociencias Cognoscitivas que se adentran en el estudio de la mente y la conciencia humanas.

La Neurociencia empieza a ser vista como una ciencia cuyo objetivo alcanza más allá que el simple entendimiento del cerebro. De hecho, en 1978 F. O. Schmitt ya apuntó que

> Estos avances (en Neurociencia) son valorables y justificativos para un intento significativo de entender el mecanismo más complejo conocido, el cerebro humano, y alcanzar el más alto y último objetivo, la comprensión del yo y la mente humana.

Una serie reciente de conferencias como la titulada «Neurociencia y el Espíritu Humano» en Washington (auspiciada por el Ethics and Public Policy Center, Washington DC, 24-25 de septiembre, 1998) y otra con el título «Neurociencia Cognitiva y Acción Divina» (auspiciada por el Observatorio Vaticano en Paserbiec, Polonia, 21-27 de junio, 1998) son buenos ejemplos de cómo los conocimientos desde la Neurociencia ofrecen una nueva perspectiva de la naturaleza humana. De hecho, en un comentario editorial en *Nature Neuroscience* titulado «¿Amenazan las neurociencias los valores humanos?» la perspectiva de la Neurociencia fue evaluada como representando un reto a la libertad y

> un nuevo argumento para una perspectiva materialista de la naturaleza humana y con ello un ataque de los tradicionales sistemas de creencia.

No pretendo en absoluto reivindicar ninguna idea original para las reflexiones vertidas en este libro. Estoy convencido de que muchas de las ideas aquí expuestas ya han sido dichas por otros. Precisamente, si algún mérito tiene este libro bien pudiera ser aquel de dejar escrito lo que de una u otra manera el autor ha discutido abierta y coloquialmente con muchos otros colegas o expuesto verbalmente en diversos foros.

Necesariamente algunas páginas del texto no son de fácil lectura sin un conocimiento básico de la estructura y función del cerebro. Para seguir estas partes se ha incluido un glosario, que he procurado sea lo suficientemente clarificador como para entenderlas sin mucha dificultad.

Quiero expresar mi agradecimiento a muchos compañeros y colegas de diferentes disciplinas, tanto de Ciencias como de Humanidades, con los que, como ya he dicho, he discutido algunas de las ideas expuestas en este libro. De entre todos ellos, quiero destacar mi agradecimiento a Juan S. Mora por el tiempo que ha dedicado a leer varios borradores del libro y por su crítica inteligente, que ha enriquecido algunos de sus capítulos. Finalmente, quiero agradecer a los editores de Alianza por la excelente labor realizada en este libro.

A MODO DE INTRODUCCIÓN

EL RELOJ DE LA SABIDURÍA

> Mientras nuestro cerebro sea un arcano, el Universo, reflejo de su estructura, será también un misterio.
>
> SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL. *Charlas de café.*

> El organismo (léase el cerebro) es ambas cosas, el tejedor y el patrón que teje, el coreógrafo y la danza que es danzada.
>
> STEVEN ROSE. *Lifelines.*

El cerebro humano no ha aparecido de pronto sobre la tierra. Su compleja estructura y su intrincado funcionamiento son el resultado de una odisea, una increíble aventura, que ha durado más de 500 millones de años de constantes pruebas de azar y reajustes en ese laboratorio experimental que es la naturaleza. Precisamente por ello se puede decir, parafraseando a Dobzhansky, que «nada se puede entender del cerebro excepto a la luz de la evolución». Profundizar, por tanto, en el estudio y la comprensión de esa larga historia seguirá siendo fundamental para comprender algo de cómo se construye y funciona el cerebro, y por ende entender al propio ser humano.

En esos cientos de millones de años que ha durado la larga andadura del cerebro sobre la tierra han debido suceder acontecimientos no imaginables ni siquiera para el biólogo evolucionista más avezado. Tal cosa es así sobre todo en lo que se refiere a la corta etapa (comparada al resto de tiempo evolutivo), sólo entre dos y tres millones de años, que ha durado el aumento espectacular del volumen y reorganización del cerebro humano a partir de sus predecesores los homínidos. En tan sólo ese tiempo el cerebro ha aumentado casi un kilo de peso. ¿Es posible que el tórrido calor ambiental de la sabana africana hace unos dos millones de años haya sido una de las «necesidades» que hayan determinado esa selección hacia cerebros más grandes? ¿Es posible, además, que tal aumento de cerebro, aprovechado entonces para resistir mejor el calor en las largas correrías de caza y también para memorizar lugares con charcas de agua, haya sido aprovechado después, cuando las condiciones ambientales cambiaron, para pensar y mejor comunicarse con los demás? De haber sido ello así (lo que sin duda es pura especulación), la evolución de los procesos mentales habría sido una consecuencia azarosa y secundaria de un cerebro que aumentó su peso y sus conexiones como pura respuesta física a la supervivencia biológica en un determinado periodo del proceso evolutivo.

En este proceso evolutivo hay dos historias paralelas. Por un lado, la filogenia; esto es, el propio proceso evolutivo general del cerebro de las diferentes especies animales,

resultado de la cual es el cerebro humano actual. Por otro, la ontogenia; esto es, el desarrollo de cada cerebro en particular, esa aventura personal del hombre desde su concepción hasta la creación de su individualidad única e irrepetible. En realidad, las dos son diferentes caras de una única historia. Ya escribió Haeckel en su ley biogenética que la ontogenia es una recapitulación de la propia filogenia.

A su vez, y en este último proceso (ontogenia) que ocurre a lo largo de toda una vida, el cerebro tiene dos espirales espacio-tiempo. La primera espiral, que podríamos llamar la espiral externa, va desde el inicio de su formación hasta la muerte del individuo con el desarrollo y aumento, mantenimiento y descenso de toda la estructura del cerebro como conjunto; es decir, su gran anatomía, la que aparece visible en una inspección física del cerebro, bien sea en un acto quirúrgico o en una autopsia. Esta espiral tiene un poderoso determinante genético. La segunda, que es intrínseca a la primera, ocurre a través de los cambios constantes de las minúsculas conexiones neuronales y sus códigos temporales de funcionamiento. Ésta es el resultado de la interacción del individuo con su medio ambiente. A esta última le podríamos llamar la espiral interna. No son dos procesos separados, antes al contrario, es un único proceso sólo dividido en dos por el análisis del fenómeno. De hecho, la segunda espiral, interna, se expresa con el tiempo en la estructura alcanzada por la espiral externa.

En realidad, el cerebro de cada ser humano es como un reloj. Un reloj inmensamente complejo que se pone en marcha a los pocos días tras la fecundación. Reloj con tan enorme sabiduría que se construye a sí mismo a través de recuerdos acumulados en nuestros genes a lo largo de millones de años de evolución. Recuerdos que se expresan además en procesos moleculares múltiples, marcando, a su vez, tiempos diferentes. Procesos moleculares y tiempos diferentes que son una misma cosa a la vez que diferente.

Quizá lo más interesante de todo ello es el hecho de que tras la puesta en marcha de este reloj que es el cerebro humano, éste no se detiene jamás, sino que prosigue su construcción y reconstrucción sin alcanzar una forma o función estable y definitiva, proceso sólo detenido por la muerte. Construcción y funcionamiento, espacio y tiempo en el cerebro no son compartimentos estancos, sino, de nuevo, una sola y misma cosa. Todo aquello que signifique aprendizaje, memoria y olvido cambia el cableado cerebral formando y reforzando nuevas sinapsis o debilitando y eliminando las viejas previamente formadas.

Este reloj cerebral, ya casi desde el inicio de su andadura y mientras se construye a sí mismo, lo hace de un modo diferente a cualquier otro de los más de 6.000 millones de seres humanos que pueblan la tierra. Esas diferencias se acentúan al máximo tras el nacimiento. El cerebro se construye siguiendo órdenes dadas por los códigos heredados y anclados en última instancia en los arcanos del tiempo, pero estos códigos ya desde su formación inicial son modulados por el medio ambiente, creando una diversidad de conexiones genuina para cada cerebro. Al final, cada cerebro se parece a otro como los

árboles de un bosque, que aun siendo todos de la misma especie y en la lejanía parecer iguales, de cerca, en las pequeñas ramas e incluso en ramas principales, son claramente diferentes. Tal cosa sucede incluso en cerebros con carga genética idéntica (clones) como son los de los gemelos univitelinos. De ahí la enorme importancia del medio ambiente no sólo físico, sino desde luego y sobre todo del medio ambiente familiar, cultural y social.

En los inmensos vericuetos de las conexiones del cerebro, en donde se crea por códigos temporales, todavía desconocidos, el conocimiento y la conciencia, no hay un principio ni un fin. No hay vías de conexión por donde la información alcance una estación definitiva y aparezcan en ella todas las excelsas funciones del comportamiento humano como en un teatro. La corteza cerebral con sus múltiples áreas histológicas, sus especializaciones y localizaciones funcionales no parece poseer región alguna que sea sólo receptora o convergente de información de todas las demás áreas corticales. Todas las áreas de la corteza cerebral poseen a la vez entradas y salidas de información. De ello se desprende una regla o principio anatómico y fisiológico de profundo significado: ningún área cerebral posee el privilegio final del análisis supremo. No hay, en definitiva, en la corteza cerebral escenario alguno en el que se represente el acto final (léase procesos mentales conscientes) ni lugar o morada para un supremo analizador ajeno al propio cerebro. La corteza cerebral parece ser como una madeja interconexionada de tal forma que en ella no hay principio ni fin. El cerebro, pues, sigue guardando el secreto de su exquisito y delicado funcionamiento.

Este reloj que es el cerebro humano guarda, almacena y utiliza todo el conocimiento que le sirve para seguir vivo, gracias a que se emociona y siente. Con el nacimiento de los sentimientos (la parte consciente de las emociones), el hombre se torna humano. Siente y comparte las cosas, las ideas y hasta su propia vida en un grado nunca alcanzado por las emociones brutas. Con los sentimientos el ser humano «enciende» las conexiones de ese sistema emocional profundo a tal grado que lleva la poderosa corteza cerebral al máximo de sus funciones cognoscitivas y mentales. Con ello el hombre escala en el mundo de las percepciones y de la visión de lo inefable hasta creer haber alcanzado a Dios.

El hombre no sólo percibe, se emociona y siente gracias a su cerebro. El hombre, además, sueña. Sueña en lo lejano, añorando incluso el infinito madre del que procedió, pero sueña siempre y sobre todo hacia adelante. El cerebro del hombre sueña y se alimenta de futuro porque como ingrediente básico de su funcionamiento, encendido por sus emociones, está la curiosidad. El hombre posee la «curiosidad sagrada» que es aquella que le lleva a explorar y husmear lo que no conoce. Y así ha creado la ciencia, ese método prodigioso que consiste en observar algo, manipularlo y barruntar cómo funciona para, como un niño, volver a manipularlo, equivocarse y rectificar. Camino único con el que desbroza el sendero hacia la verdad, la que por otra parte sabe que nunca alcanzará. De ahí el esplendor y la miseria de una tarea que no sabemos dónde nos lleva.

Ese reloj tiene tiempos alternantes de actividad y descanso (ciclos o periodos) marcados por y heredados de la madre Tierra de la que nació. Y sin duda de más allá, en la convergencia de tiempos y espacios que es el origen del Universo. Y es así que el péndulo de este reloj no sólo marca y orquesta esos tiempos circadianos, de todos los días, para sí mismo y el resto de su cuerpo, sino que orquesta además infinitos otros pequeños tiempos con los que a lo largo de los meses y años organiza y recorre el arco de sus días y de su propia vida.

De este modo es como el hombre se sumerge todos los días en un mundo de oscuridad en el que descansan su cerebro y su conciencia. Durante el día el voluminoso cerebro humano trabaja silencioso pero sin interrupción. Al final del día necesita descanso. Posiblemente en ese descanso logre enfriar su cerebro, calentado en exceso por toda esa actividad de la que en su mayor parte no es consciente. Y de nuevo cada día, como el dios Ra, retoma su sabiduría para seguir vivo.

Sabiduría, por otra parte, tan extraordinaria que le ha permitido vivir internamente y recrear internamente imágenes del mundo que le rodea. El cerebro representa en una pantalla «imaginaria» interior, aquella de la mente, cuanto le rodea. Gentes, cosas y paisajes. Y el individuo, que a la postre es su propio cerebro, puede «ver» y «oír» en ese mismo cerebro, recreando las secuencias de la película que ha vivido ese mismo día o las de hace muchos años. Y todavía más, crea y adelanta las posibles secuencias que se pueden suceder al día siguiente. Es un cerebro dentro del cerebro.

Este cerebro humano, único, a través de un proceso tan extraordinario como ignorado, ha logrado resumir y manejar la realidad de todos los días de una manera simbólica, con ideas. Ello le ha permitido ahorrar de modo considerable tiempo en el procesamiento de la información por su propio cerebro y tiempo en la comunicación a los demás: esto es, la abstracción. ¿Puede uno imaginarse lo que podría significar memorizar todos y cada uno de los objetos y cosas con los que nos tropezamos todos los días y en el contexto de cada conversación tener que evocar todos los detalles concretos?

¿Qué maravilloso invento, qué poderoso mecanismo se puso en marcha y cuándo en la evolución que permitió al cerebro humano desarrollar esa capacidad de encontrar propiedades o relaciones comunes a muchas cosas y extraer un concepto, una idea, que hable de todas ellas como una sola cosa? ¿Qué hizo que pudiéramos pasar de nombrar y detallar cada árbol, cada león, cada cebra, cada matojo de hierba, cada estado del cielo hasta llegar a decir simplemente «que un león mató a la cebra en la pradera al atardecer» y entenderlo? ¿Alguien puede imaginar el enorme ahorro de procesamiento y memoria que con ese «invento» de la abstracción ha logrado el cerebro? Con esta capacidad el hombre comenzó su andadura de «pensar», rompiendo las cadenas de lo particular y concreto, y liberándose de recordar y comunicar cada estado del cielo y cada cosa y animal en la pradera. La abstracción del león ya no es el león concreto, es o pueden ser todos los leones del mundo. ¿Puede uno imaginar mayor resumen?

Pero el cerebro de cada ser humano es único y diferente y, hasta donde sabemos, la

actividad neuronal que da lugar a los procesos de conciencia es diferente para cada cerebro. Es posible, además, que los circuitos neuronales con los que cada cerebro idea, abstrae y se emociona con el mundo que le rodea, sean también diferentes. ¿Cómo sabemos, pues, que al comunicarnos los humanos estamos hablando de lo mismo? ¿Son los significados construidos en mi cerebro los mismos que los tuyos construidos en tu cerebro tan distinto? ¿Es el rojo que yo veo el rojo que tú ves? La variabilidad tan enorme entre cerebros, la variedad entre abstractos y emociones en el cerebro de cada ser humano, el significado en definitiva de ese abstracto cuando nos comunicamos con otros, ¿es para todos el mismo?

Lo sorprendente es que este cerebro maravilloso permite al hombre una maravilla más. Aquella con la que puede no sólo «ver» y abstraer lo visto, sino «saber que ve». Posiblemente un privilegio único no compartido por ningún otro ser vivo en la faz de la tierra. Ese saber que sabe, ese conocimiento, le ha llevado a unir a través de un hilo de tiempo las secuencias y los cambios de la vida de otros seres y de sí mismo e identificarlos como uno. Eso le ha llevado al único conocimiento cierto del ser humano, el de su contingencia y muerte. Eso es el hombre.

El hombre sabe de su propio cerebro. Y con su ciencia sabrá, andando el tiempo, mucho más. Pero con todo, señalaba David Hubel:

> Las Ciencias del Cerebro no demostrarán probablemente nunca la intimidad del funcionamiento cerebral del hombre. Es decir, el hombre no entenderá nunca al propio hombre (ni a sí mismo —añado yo—), porque en el diseño del cerebro no entra la posibilidad de entender su propio y último funcionamiento.

Ello sería algo así, señala Hubel de manera muy ilustrativa:

> como levantarse en el aire tirando de los cordones de los propios zapatos. Pero tampoco tengo ninguna duda de que el conocimiento cada vez más en profundidad de pequeñas parcelas del cerebro permitirá ir adentrando el conocimiento más y más sobre su funcionamiento último.

Hubel estaba en lo cierto. Desde que escribió esto último, hace ya más de veinte años, han ido apareciendo nuevas pequeñas piezas del rompecabezas que es el cerebro, que, como él mismo indicaba, nos llevan a reflexionar más y más sobre nosotros mismos. De ello trata este libro.

CAPÍTULO 1

EL CEREBRO HUMANO. CASI MIL MILLONES DE AÑOS DE HISTORIA EVOLUTIVA

> Hoy la teoría de la evolución está tan en duda como lo puede estar la teoría de que la Tierra gira alrededor del Sol.
>
> RICHARD DAWKINS. *The selfish gene.*

> ... porque nuestra generación todavía no ha llegado a comprender cuantísimo le importa al hombre saber de qué manera lo humano está ligado físicamente al resto de la vida.
>
> PIERRE TEILHARD DE CHARDIN. *La aparición del hombre.*

El origen de la Tierra tuvo lugar hace unos 4.000 a 4.500 millones de años. Y en ella, en un largo proceso, apareció la vida. No se sabe cómo ocurrió. Como señala Richard Dawkins, «nadie hubo alrededor para ver lo que sucedió». ¿Fue todo un proceso originario de la misma Tierra? ¿Fue importante la materia orgánica procedente de los cometas? Como quiera que fuese, 1.000 millones de años después, a juzgar por los registros fósiles encontrados en rocas sedimentarias, apareció la primera célula. Hace, por tanto, de esto unos 3.500 millones de años. Un «invento», la célula, que debió de ser desde su origen «casi» perfecto, pues se estima, a juzgar de nuevo por los registros fósiles, que la vida unicelular en la Tierra duró unos 3.000 millones de años (Oparín, 1964; Margulis y Sagan, 1996; Oró, 1997).

Al principio fue la célula

Con la célula, tres poderosos desarrollos morfofuncionales aparecieron sobre la faz de la Tierra. Por un lado, la membrana permeable; por otro, la maquinaria metabólica capaz de utilizar energía del medio ambiente, y, por último, los procesos de memoria o mecanismos capaces de guardar y utilizar información tanto interna (procesos metabólicos) como externa (lo que le permite vivir en un determinado medio ambiente y la capacidad de reproducirse). Junto a ello aparecieron la capacidad de sensar la intensidad de la luz y la temperatura del medio ambiente (sensibilidad), el control de la ingesta de agua y alimentos y la capacidad de desplazarse o moverse (motilidad). Todo ello permitió al primitivo ser unicelular aproximarse a las fuentes de alimento y reaccionar y alejarse de aquellas otras nocivas (irritabilidad), como pudieran ser la acidez o alcalinidad y las temperaturas extremas (Margulis y Sagan, 1996).

Los códigos del sistema nervioso ya se encuentran en la célula

Los seres unicelulares poseen, pues, propiedades que les permiten integrar los estímulos y expresar una conducta acorde y directamente en relación a los cambios que se suceden en el medio ambiente. Estas propiedades expresadas en códigos de sus membranas son la irritabilidad o sensibilidad y la capacidad de respuesta o actividad motora. ¿No son acaso estas las propiedades básicas que conocemos de las células nerviosas? ¿Sería muy especulativo ver en estas propiedades funcionales del ser unicelular el origen del sistema nervioso mucho antes, desde luego, que apareciera la neurona y el propio tejido nervioso? Parece que el origen de los seres pluricelulares estuvo en un principio en la agregación de células no coordinadas entre sí. Eran, pues, simples agregados celulares (Gisolfi y Mora, 2000).

La protoneurona

Hace unos 700 millones de años aparecieron los organismos pluricelulares y con ellos el atisbo de células especializadas en detectar y responder a estímulos externos. Este paso del ser unicelular al pluricelular sigue siendo tan desconocido como el origen de la propia vida y también del logro o aparición de las células más primitivas. ¿Qué hizo que tras 2.800 millones de años de existencia unicelular aparecieran los primeros agregados celulares? ¿Qué presiones selectivas llevaron a que la «perfecta» individualidad del ser vivo, la célula, recibiera el primer empujón hacia un ser vivo nuevo en el que ya las partes (células) se sometieron al todo (agregados celulares)? Lo que parece claro es que con la aparición de los organismos pluricelulares se aceleró esa innovadora y poderosa maquinaria que es la evolución.

Con los organismos pluricelulares aparecieron nuevos «inventos»: la comunicación intercelular, con señales y gradientes iónicos y cascada de estos gradientes. Y también el comienzo de la diferenciación y especialización celular que hizo más eficiente el conjunto. Otra ventaja fue el aumento de la longevidad (las células de los organismos multicelulares pueden ser reemplazadas sin que el organismo muera).

¿Qué dio lugar a la aparición de células tan especializadas como son las neuronas? La especulación que resume todas las teorías vigentes es ésta: en un conjunto de células, la aparición de una especialización capaz de unificar y regular su función como un todo debió ser tan fundamental como necesaria para la supervivencia del nuevo organismo.

Probablemente, la génesis del sistema nervioso ocurrió de modo paralelo al desarrollo de la organización multicelular. Sin embargo, las células nerviosas no deben ser vistas como células con capacidades totalmente innovatorias, ya que, como he señalado antes, la mayor parte de las características atribuidas específicamente a dichas células (como la irritabilidad y la excitabilidad) estaban ya presentes en el organismo unicelular.

Hay muchas teorías sobre la aparición de la célula nerviosa y el propio sistema

nervioso. Quizá la más antigua e influyente fue la de Kleinenberg (1872), quien describió en la hidra (un pólipo) células que denominó «células neuromusculares» y que contenían una región apical (de cilios sensoriales) en contacto con el medio ambiente y una región basal formada por los propios procesos musculares. Para Kleinenberg este tipo de células serían las células de las que se originó el futuro sistema nervioso, ya que contenían los elementos básicos del mismo: receptores sensoriales (en los cilios) y elementos efectores o motores (en los procesos musculares).

Alrededor de la idea central de células sensoriales y motoras cada vez más especializadas, y basándose en datos experimentales realizados sobre sistemas nerviosos «primitivos» como los de los celentéreos (medusas y otros), se han propuesto diversas teorías para explicar el origen del sistema nervioso. Las más relevantes quizá sean las de Parker (1919), Pantin (1956) y Passano (1963).

Para Parker, «la célula nerviosa más primitiva, desde el punto de vista de la filogenia animal, es la célula sensorial o célula receptora, como ocurre en el epitelio de los celentéreos». Así pues, para Parker las protoneuronas emergen inicialmente como células sensoriales individuales o células detectoras de los cambios del medio ambiente más inmediato del organismo pluricelular. Tras ello, se desarrollarían las neuronas efectoras o motoras.

Pantin tiene una concepción más globalizada del sistema nervioso primitivo:

> la maquinaria conductual del metazoo no evolucionó célula a célula y reflejo a reflejo. Desde su origen tuvo que haber incluido la estructura de todo el animal y tuvo que haber sido suficientemente complejo y organizado como para cubrir todas sus diferentes necesidades de comportamiento.

En contraste con Parker, Pantin hace énfasis en el desarrollo simultáneo de células nerviosas no diferenciadas, coordinando todo el organismo en respuestas tanto motoras como sensoriales. Además, enfatiza que la célula nerviosa primitiva no fue solamente una simple célula sensorial controlando a otra única célula efectora, porque una respuesta mínimamente efectiva no podría haber sido iniciada con la inervación de una única célula muscular por una única célula receptora.

Passano propuso la siguiente teoría:

> Protomiocitos individuales evolucionaron hacia conjuntos de células contráctiles independientes, permitiendo movimientos más amplios que los logrados por la contracción de miocitos individuales. Dentro de estos conjuntos, ciertas células se convirtieron en centros endógenos de actividad, o marcapasos, desarrollando en su membrana un área especializada inestable capaz de tener una despolarización activa. Estos marcapasos locales sincronizaron la contracción de células adyacentes por medio de la transmisión pasiva de la despolarización, afectando a todos los mecanismos contráctiles (quizás utilizando puentes intercelulares). Así,

> grupos de células musculares respondiendo a estos marcapasos permitirían la puesta en marcha de movimientos recurrentes que facilitaron la captación de alimentos. La diferenciación de estos dos tipos de células habría evolucionado conjuntamente y lo que posteriormente sería la célula nerviosa se especializaría en poner en marcha la actividad del organismo. La especialización de la célula nerviosa para la conducción más que para la iniciación repetitiva de la actividad sería vista como un desarrollo secundario en la evolución de neuronas.

Passano más tarde consideró que las células marcapaso se desarrollaron como células sensoriales, integrando estímulos sensitivos externos con actividad motora. En un posterior paso evolutivo del sistema nervioso aparecen las vías de conducción y las conexiones (sinapsis), produciéndose por primera vez una actividad neural integrada (reflejos).

Evoluciones paralelas

A partir de aquí se sucedieron dos líneas evolutivas. Por un lado, la evolución y progresión de las características de la propia célula nerviosa, la neurona primitiva o protoneurona, hasta alcanzar potenciales de membrana inestables y transmitir esta inestabilidad a otras células, generando un ritmo intrínseco de actividad en el nuevo organismo. Por otro, las neuronas progresaron a lo largo de toda la escala evolutiva, complicando y diversificando su morfología con un aumento en general de la frondosidad de sus neuritas (dendritas y axones) y con un proceso de complejidad creciente, aumentando y diversificando sus conexiones con otras neuronas. Finalmente, a lo largo de este proceso evolutivo se añadió una nueva dimensión de complejidad creciente: el agregado o agrupamiento de células nerviosas con una especialización cada vez mayor en su función y la aparición de neuronas sin una función sensorial o motora primaria, las llamadas interneuronas.

Aparecen así neuronas dedicadas a procesar información del medio ambiente, otras dedicadas a enviar órdenes a las células musculares para realizar un acto motor o conducta y, finalmente, otras que entre estas dos anteriores (las interneuronas) tienen capacidad de integrar y procesar información y «reflexionar» acerca de la respuesta más adecuada. Con estas interneuronas se crea ya la «tríada neuronal» o patrón básico de funcionamiento del futuro cerebro.

Un ensayo de cerebro

Un salto cualitativo importante en el agrupamiento neuronal es el llamado sistema nervioso en miniatura considerado como una unidad anatómico-funcional. Al igual que la aparición de la protoneurona pudo ser un salto cualitativo fundamental en el proceso de

una mejor adaptación al medio ambiente de los primitivos metazoos, la aparición posterior de un sistema nervioso capaz, con pocas neuronas, de organizar completamente el funcionamiento multicelular pudo ser un logro básico y decisivo en el proceso evolutivo del sistema nervioso, ya que se ha encontrado en muchas especies de diferentes líneas evolutivas (que incluyen moluscos y artrópodos). Ello ha hecho especular sobre si este logro no apareció ya antes de que ocurriera la diferenciación de las principales líneas evolutivas multicelulares. Esto se conoce como Microsistema de Neuronas (Kandel, 1979) y también Sistema Nervioso en Miniatura (Jerison, 1973).

En este sistema en miniatura o minirred, cada neurona puede identificarse tanto en su posición anatómica como en el papel funcional que cumple. Y esta relación anatómico-funcional se mantiene en todos los organismos de la misma especie. Es posible que estos sistemas sean unidades o patrones básicos anatómico-funcionales utilizados a lo largo de la evolución para la construcción del futuro cerebro. Los procesos de aprendizaje y memoria son de hecho propiedades intrínsecas a estos microsistemas de neuronas.

A partir de aquí la evolución del sistema nervioso pudo acontecer, como de hecho se puede ver en la serie de pasos filogénicos que hay en los celentéreos, con la aparición de células nerviosas agrupadas en forma de ganglios. De esta manera, neuronas que realizan una función común se agrupan, creando una gran complejidad en sus conexiones sinápticas. Así y aun cuando el patrón básico de funcionamiento de los sistemas en miniatura se mantiene (entrada de información sensorial, procesamiento y salida de información), éste experimenta un aumento progresivo a lo largo de la evolución hacia la diferenciación y complejidad, de modo que la capacidad para la interpretación de la información sensorial aumenta y con ello la capacidad y flexibilidad de expresión en la conducta.

El origen del cerebro o cómo acertar con un modelo

El paso final de esta etapa evolutiva y el origen del cerebro propiamente dicho podría quizá verse con la reducción del número de ganglios y la tendencia creciente hacia una única concentración de los mismos en posiciones más anteriores o cefálicas del organismo. Junto a ello se especula que el verdadero origen del cerebro y sus dos mitades (cerebro derecho y cerebro izquierdo) pudo estar en la necesidad de coordinar perfectamente las dos partes simétricas del cuerpo, arrancando ya en los primitivos cordados y continuando con los vertebrados. Serían los albores de la aparición del cerebro y el origen de la cefalización creciente.

A juzgar por registros fósiles (de hace unos 500 millones de años), el cerebro aparece ya en los primeros vertebrados (peces sin mandíbulas) con un patrón en su construcción que va a seguir como modelo a lo largo de toda la evolución, desde los vertebrados inferiores (peces, anfibios y reptiles), siguiendo por los vertebrados superiores (aves y mamíferos), hasta llegar al hombre. Éste es, y de abajo arriba, la médula espinal seguida

del tronco del encéfalo, y éste, de diencéfalo y eventualmente corteza cerebral. Por ejemplo, en todos los vertebrados el origen de los pares craneales es el mismo: nacen en el tronco del encéfalo con un patrón común a su topografía e independientemente del desarrollo particular que estos nervios hayan tenido en las diferentes especies o de las particulares hipertrofias que haya desarrollado este tronco del encéfalo (particularmente en peces) (Jerison, 1973).

Este cerebro primitivo se ha seguido a lo largo de toda la escala evolutiva, tanto en la gran diversidad anatómica de cerebros encontrados (formas y tamaños) como en los cerebros de peces actuales (algunos reminiscentes o descendientes de esos peces primitivos, como por ejemplo la lamprea). Esta diversidad de cerebros parece deberse a que, partiendo de ese patrón básico y fundamental que hemos señalado, se han derivado «especializaciones» del mismo adaptadas a nichos ecológicos diferentes. En todos estos cerebros, a pesar de su diversidad, hay una regla general inflexible: el mayor o menor peso del cerebro se corresponde con un mayor o menor peso de cuerpo. Hoy, además, sabemos que, al menos para los vertebrados inferiores, el aumento o desarrollo de una parte del cerebro se acompaña, de modo general, de un detrimento en el desarrollo de otras partes de ese mismo cerebro.

No es sorprendente, por lo tanto, el hecho de que el desarrollo de «especializaciones» del cerebro, algunas de ellas muy espectaculares (por ejemplo, los grandes lóbulos ópticos de muchos peces que viven en ambientes marinos profundos con poca luz), ha sido el mecanismo por el que diferentes especies se han tornado enormemente eficientes para sobrevivir en nuevos nichos ecológicos. Paradójicamente, sin embargo, estas mismas especializaciones parecen haber sido la trampa o el «camino de no retorno» que ha llevado a estas especies a su eventual estancamiento adaptativo e incluso extinción, ya que les ha alejado de la línea central que ha llevado el propio proceso evolutivo. Al parecer es de esta manera como han aparecido las ramas de ese tronco central que es el árbol de la evolución.

Precisamente y desde hace mucho tiempo (Mather, 1943, citado por Tobias) se han distinguido los conceptos de adaptación y adaptabilidad como inversamente proporcionales. Es decir, a mayor adaptación de un animal a su medio ambiente (lo que sin duda conlleva los cambios morfológicos y funcionales que ya hemos mencionado en el caso de algunos peces) menor es la capacidad plástica evolutiva que retiene para poder adaptarse a un nuevo ambiente en el supuesto de que el suyo original cambiase. En definitiva, la línea central evolutiva ha partido siempre de cerebros «no especializados», más indiferenciados y sin desarrollos particulares de ese patrón básico del cerebro que hemos descrito anteriormente.

El cerebro deja atrás al cuerpo

El cerebro claramente es un órgano más de los muchos que tiene el organismo, como el

hígado, el corazón o el pulmón. En contraste a estos últimos, sin embargo, el cerebro es el órgano supremo que controla el funcionamiento de todos ellos y conforma al organismo como un todo en su medio ambiente. Siendo esto así, no debiera haber ninguna extrañeza en que existiese una cierta correspondencia o incluso una correspondencia muy estrecha entre el peso o volumen del cerebro y el peso del cuerpo al cual gobierna.

En 1973, Jerison a partir de los datos de Crile y Quiring (1940), que recogieron y midieron el peso del cuerpo total y el de diferentes órganos de más de tres mil especies de vertebrados, representó el peso del cuerpo y el del cerebro de una serie de especies muy cuidadosamente escogidas entre toda aquella muestra. En este estudio (de 198 especies de vertebrados), Jerison descartó todos aquellos datos que supuso pertenecían a animales muy jóvenes o muy viejos, con la finalidad de hacer una representación homogénea de animales adultos. En la muestra se incluían peces, reptiles, pájaros y mamíferos en general (entre estos últimos, primates y el propio hombre). Al representar en una gráfica con escala logarítmica, tanto el peso del cerebro en gramos (ordenadas) como el peso del cuerpo en kilogramos (abscisas), encontró que toda la población de especies representada podía dividirse claramente en dos grupos diferentes: por un lado, los pájaros y los mamíferos (vertebrados superiores) y, por otro, los peces y reptiles (vertebrados inferiores). Ambos grupos tenían una correlación lineal con una pendiente igual de 2/3, pero eran líneas diferentes; es decir, corrían paralelas a lo largo de los ejes peso de cerebro-peso de cuerpo, estando la línea de los vertebrados inferiores (peces y reptiles) por debajo de la de los vertebrados superiores (pájaros y primates). Ello llevaba claramente a dos conclusiones. Primera: en cualquier especie, un determinado peso de cuerpo se corresponde con un determinado peso de cerebro. Segunda: para un mismo peso de cuerpo es mayor el peso del cerebro de los vertebrados superiores que el peso del cerebro de los vertebrados inferiores. Esto último nos indica que peces, anfibios y reptiles mantuvieron una relación cerebro-cuerpo lineal a lo largo del proceso evolutivo y que esta relación cambió con la aparición de los mamíferos (y pájaros), dando lugar a un cerebro más grande (siempre relativo al peso del cuerpo).

¿Qué es el cociente de encefalización?

En el caso concreto de los mamíferos, y a lo largo del proceso evolutivo, el peso del cerebro ha ido aumentando progresivamente respecto al peso del cuerpo. Para estimar de forma adecuada esta observación se ha utilizado una medida objetiva que es el cociente de encefalización. Se entiende así por cociente de encefalización (Jerison, 1977) la relación entre el peso real del cerebro (expresado en gramos) de un determinado mamífero y el peso de cerebro esperado para ese mismo mamífero si se le comparara con un estimado obtenido de relacionar peso de cerebro-peso de cuerpo de una amplia muestra de todos los tipos de mamíferos vivientes.

Tomemos algunos ejemplos. Sean el caso de cuatro mamíferos: el perro, el tapir, el mono y el hombre. El perro es el caso en el que el peso real de su cerebro coincide con el peso de cerebro esperado. Por tanto, al dividir ambos obtenemos un cociente igual a 1 y decimos que el cociente de encefalización del perro es 1. El mono y el tapir representan, respectivamente, dos casos de cociente de encefalización por encima (cociente = 4) y por debajo (cociente = 0,5) de lo esperado. El caso extremo es el del hombre, con un cociente de encefalización de 7 (el peso de su cerebro es siete veces superior al esperado).

Quizá ayude a entender esto último un poco más si se expone el caso del ser humano de la siguiente manera: si el hombre tuviese una relación peso de cerebro-peso de cuerpo como la del perro, el peso del cerebro del hombre se correspondería con un peso corporal igual al de un hipopótamo o de un rinoceronte; esto es, casi diez toneladas de peso corporal. El delfín es otra gran excepción en la relación peso cerebral-peso corporal: tiene un coeficiente de encefalización similar al del hombre. Es necesario advertir que el cociente de encefalización sólo se refiere al peso del cerebro y no a su organización interna. En esto difieren, con mucho, los cerebros del delfín y del hombre.

Temperatura, olfato y oído

Con los mamíferos hay un aumento absoluto de algunas partes de ese patrón básico del cerebro que hemos descrito y que se siguió a lo largo de los vertebrados inferiores: aumentó el grosor de la corteza cerebral. A partir de los primitivos mamíferos hay, pues, una tendencia general al aumento del peso de cerebro en relación al peso del cuerpo, fenómeno este que se pone claramente de manifiesto con la aparición de los primates y de modo espectacular en el caso del hombre.

¿Qué ha ocurrido a lo largo del proceso evolutivo para que el cerebro de los mamíferos experimentara un aumento en su volumen con respecto a sus predecesores los reptiles? Hay muchas teorías (véase Jerison, 1973), pero quizá una observación sea crucial al respecto. Parece que durante la transición de pequeños reptiles a mamíferos, éstos, en su nuevo hábitat, en la espesura de los bosques, adquirieron un equipamiento en su cerebro y en su cuerpo que no tenían sus predecesores. Adquirieron la capacidad de mantener su temperatura corporal y la de su cerebro constante; es decir, una temperatura de su cuerpo independiente de las fluctuaciones de la temperatura del medio ambiente (frío-calor).

Hasta donde sabemos, todos los predecesores de los mamíferos eran poiquilotermos (como lo son en la actualidad tanto peces como anfibios y reptiles), es decir, la temperatura de su cuerpo fluctúa o cambia con la temperatura ambiente. Esto tiene consecuencias para el funcionamiento del cerebro muy importantes: el cerebro no funciona de forma adecuada a menos que tenga una temperatura determinada y estable. Esta temperatura es aproximadamente de 37 ºC. Frente a una temperatura inferior a ésta,

la actividad del sistema nervioso se deprime y enlentece y su consecuencia es torpor en la conducta y somnolencia. Tal cosa sucede en todos los vertebrados inferiores cuando la temperatura del medio ambiente desciende hasta cierto nivel. Ello hace que los peces, anfibios y reptiles sean esclavos del medio ambiente en el que han nacido y no pueden salir de él. Sólo en el ecosistema donde nacieron, conocen dónde pueden eventualmente resguardarse de condiciones adversas y no ser presa de depredadores (Gisolfi y Mora, 2000).

El mamífero, por el contrario, con un cuerpo y un cerebro calientes y una capacidad de estar siempre alerta, puede evitar con más facilidad a depredadores y desde luego moverse, casi sin límites, dentro y fuera de diferentes nichos ecológicos. Así pues, con la eutermia o temperatura constante se puede concebir que la fuerza o presión selectiva de la evolución empujara hacia la adquisición cada vez mayor de un cerebro más grande. En efecto, un cerebro en actividad constante y a lo largo de todo el año permite estar constantemente aprendiendo y memorizando y por ello dando oportunidades al florecimiento de mutaciones y presumiblemente acelerando su proceso evolutivo.

Pero ¿qué estructuras, qué partes anatómicas específicas del cerebro se desarrollaron para adaptarse al nuevo hábitat y desarrollar así a su vez el tipo de conducta necesario para sobrevivir en los nuevos nichos ecológicos? Se piensa que los cambios ocurridos fueron sobre todo, y en su origen, de tipo sensorial. Recordemos que los primeros reptiles-mamíferos que se albergaron en la espesura de los bosques pasaron de un medio ambiente a la luz del día a un medio ambiente en la oscuridad. Con ello, presumiblemente, el sentido de la vista debió cambiar el modo de procesar una información tan importante como es la distancia y la localización de enemigos o presa y alimento. En efecto, aun cuando los primitivos mamíferos debieron conservar la visión de sus predecesores los reptiles (éstos tienen fundamentalmente en su retina bastones y, por tanto, no perciben colores) es evidente que en la oscuridad (su nuevo hábitat) debieron desarrollarse otros sistemas sensoriales para hacer frente de forma eficaz a la nueva situación.

En los vertebrados de tierra firme sólo se conocen dos sistemas, aparte de la visión, para detectar cambios a distancia en el medio ambiente. Éstos son la olfacción y la audición. Hay datos anatomopaleontológicos que sugieren, precisamente, un prematuro desarrollo de estos sistemas en los primitivos mamíferos. Frente a la visión (en vertebrados inferiores buena parte de la información visual es procesada en la retina, una estructura propiamente fuera del cerebro), la olfacción y la audición requieren de un procesado en el propio cerebro, en concreto requieren del desarrollo de estructuras corticales y talámicas, lo que justificaría el aumento del cerebro. Junto a ello, como hemos señalado, la aparición de funciones nuevas, como la endotermia, debió requerir de un aumento y nueva organización de estructuras encefalizadas, como el hipotálamo y el sistema límbico (Gisolfi y Mora, 2000).

A partir de aquí la evolución del cerebro tuvo una tremenda «aceleración» con «sólo»

el espacio de tiempo de 65 millones de años que duró el Cenozoico. Es un corto espacio de tiempo frente a los 325 millones de años que duró todo el Paleozoico (invertebrados, peces, anfibios y reptiles primitivos) y los 180 millones del florecimiento de los reptiles (Mesozoico).

¿Evolución o revolución?

El desarrollo del cerebro a lo largo de la evolución de los mamíferos, desde hace más de 60 millones de años, se considera una primera y verdadera revolución en comparación con el proceso conservador que había mantenido este desarrollo hasta entonces. Según Jerison (1973), con esta revolución nace la verdadera inteligencia; es decir, la capacidad flexible de optar por diferentes opciones de respuesta ante un determinado estímulo. Esta revolución se expresa en los primeros mamíferos con una primera y nueva reorganización del cerebro, de manera que su mayor tamaño ya no se hace de forma lineal como en los primitivos cerebros (vertebrados inferiores), sino que comienza el contacto o superposición de la parte posterior de la corteza con la anterior del cerebelo y con ello por primera vez desaparece la exposición del tronco del encéfalo, que queda recubierto por estas dos estructuras.

¿Por qué una esfera y no un cilindro?

Es posible que los cambios morfológicos que hemos señalado antes como más fundamentales —por ejemplo, el recubrimiento del tronco del encéfalo— se debieran, al menos en parte y secundariamente, a la acomodación de un cerebro más grande a una caja craneana más pequeña. De hecho, la evolución del cráneo no fue proporcional al aumento del volumen cerebral. Es difícil explicar por qué la caja craneana no se expandió correspondientemente a un mayor tamaño del cerebro. ¿Qué hizo que el cerebro se acomodara a una caja craneana de tipo esférico y pequeña y no a una más cómoda y grande pero cilíndrica? No lo sabemos, pero parece que el empaquetamiento de una materia gelatinosa se hace más eficientemente en una esfera que en un cilindro, lo que, sin duda, debió tener desde el principio unas ventajas claras de supervivencia. Efectivamente, no sólo una esfera es más eficiente en este empaquetamiento de la masa cerebral que acabamos de mencionar, sino que en el propio proceso del parto, al pasar por los vericuetos del canal pélvico, es difícil imaginar otra cosa que una esfera que se acomode más fácilmente en esa aventura de alumbramiento de un ser vivo.

Todo esto cobra una dimensión especial al considerar la evolución del cerebro a partir de hace unos 6-8 millones de años en que divergió la línea evolutiva de los primitivos antropoides a los homínidos y el hombre. Desde entonces hasta el momento actual ocurrió un fenómeno singular a juzgar por lo que vemos en las especies vivas actuales, el

chimpancé y el hombre. Ambas especies nacen con dimensiones craneanas similares y un peso de cerebro similar, es decir, unos 300 gramos. ¿No debieron existir poderosas razones de supervivencia que hicieron que la hembra no aumentara las dimensiones del canal pélvico para permitir alumbrar un cerebro más grande y maduro?, ¿no debieron en parte ser igualmente causas de eficiencia y supervivencia las que hicieron preservar una esfera frente a un cilindro?

La segunda gran revolución del cerebro

La segunda gran revolución del cerebro ocurre con el cerebro humano. Es este un proceso fascinante al tiempo que sorprendente. El hombre, en tan sólo un espacio de tiempo de 2-3 millones de años ha aumentado el peso del cerebro de 500 a 1.400 gramos. Un aumento de casi un kilo de cerebro.

Fue al parecer R. Boom (Teilhard de Chardin, 1958) quien por primera vez reunió datos acerca de los grandes primates hominoideos y los catalogó en una única familia bajo el nombre de Australopitecos. Con ello, el puente o «eslabón-perdido» hasta entonces entre el hombre y los animales se estableció de una forma definitiva. El estudio de los restos fósiles nos permite hoy comprobar que desde los antecesores del hombre, los Australopitecinos (*Afarensis*, volumen cerebral medio 400 cc; y *Africanus*, 460 cc), el cerebro aumentó unos 250-350 cc en el *Homo habilis* (700-750 cc de volumen cerebral medio). En el *Homo erectus* el volumen cerebral alcanzó los 900 cc y de ahí su progresión con el *Homo sapiens* hasta llegar a los 1.400 cc (Tobias, 1971; Holloway, 1995). Hoy, como señala Ayala, «el que la especie humana, *Homo sapiens*, ha evolucionado a partir de antepasados que no eran humanos es una conclusión científica establecida más allá de toda duda razonable».

¿Qué ha ocurrido para que en tan corto espacio de tiempo evolutivo haya acontecido tan sorprendente fenómeno con el cerebro? Es esta una de las grandes incógnitas abiertas sólo a la especulación. No hay ninguna duda de que el aumento del tamaño y la organización del cerebro en tiempo tan corto ha debido ser el resultado de una serie de procesos multifactoriales convergentes. Sería simplista creer que la evolución del cerebro puede atribuirse a un solo suceso tal como la adquisición de la bipedestación (postura erecta), utilización y construcción de herramientas, adquisición del lenguaje o nuevos modos de vida social, como la agricultura y la ganadería. Debió haber, junto con los factores mencionados, otros factores desconocidos, que influyeron en la adquisición por los homínidos de cerebros más grandes. Y todavía más importante, debieron existir factores «clave» responsables de disparar inicialmente esa acelerada carrera por la adquisición de un cerebro grande.

En los homínidos se considera que el comienzo de la encefalización creciente comenzó hace unos 5-6 millones de años en el contexto específico de un determinado medio ambiente. Este nicho ecológico fue el encuentro o límite entre la selva húmeda, en

constante retirada, y el aumento de esa extensión de tierra ocupada por la sabana árida y seca. En este medio ambiente cambiante sobrevinieron los primeros cambios adaptativos del cerebro en los antecesores de los homínidos. De ser ello así, ¿pudo ser la temperatura ambiental en esta sabana, junto con métodos de caza primitivos, uno de esos factores clave? Dos hipótesis son relevantes a este último respecto. Por un lado, la de Krantz (1968), por otro, la de Fialkowski (1986). Gisolfi y Mora (2000) han desarrollado estas dos hipótesis con algún detalle. La esencia de las mismas es la siguiente:

Calor, memoria y cultura

Krantz sugirió que la caza en su forma más primitiva, «caza persistente», pudo haber sido la base de una presión selectiva que marcó la vía evolutiva por la que ya los Australopitecinos iniciaron la adquisición de cerebros más grandes. La esencia de este tipo de caza (genuinamente humana) era perseguir la presa durante varios días, lo que requería una constante atención del cazador hacia la presa y, desde luego, «anticipar» el futuro (la presa abatida). Es altamente posible que los australopitecinos pudieran haber utilizado este tipo de caza, dado que fueron criaturas mejor adaptadas a correr que a andar (Dart, 1964).

La idea de que este tipo de caza pudiera ser relevante para desarrollar cerebros más grandes se basa en la asunción de que los individuos que estuvieran mejor adaptados anatómicamente para correr y que también tuvieran cerebros más grandes por azar, tendrían mejor memoria que otros individuos con cerebros más pequeños (varios estudios han asumido la idea de que la memoria está directamente relacionada con el volumen del cerebro [Tobias, 1971]). Valor este, la memoria, extraordinario para poder relacionar espacialmente diferentes áreas del terreno en relación a la presa. Krantz sostiene que en la sabana, los Australopitecinos debieron competir muy duramente con otros carnívoros por presas que se cansaran más fácilmente, como animales jóvenes, heridos o viejos, pero a medida que con un cerebro mayor la posibilidad de cazar otros animales dependiese de las habilidades y memorias del individuo, esta presión selectiva específica debió favorecer a cerebros más grandes y con mejores memorias. Junto a ello, Eckhardt (1987) supone que en situaciones en las que los primitivos homínidos tuvieron que sobrevivir en la sabana seca y calurosa, la memoria de la localización de charcas de agua en áreas donde cazaban pudo tener un enorme valor de supervivencia. Es interesante señalar a este respecto que los bosquimanos actuales cazan en un área tan grande como 10.000 km^2 y saben perfectamente la localización de cada charca en esa extensión de terreno. Señala Eckhardt: «ninguna otra especie, sea depredadora o de presa, iguala tal capacidad de almacenamiento de información y evocación de lo memorizado».

Fialkowski (1978, 1986), por su parte, sostiene que si el proceso de hominización desde los Australopitecinos tuvo lugar en los trópicos (en la parte sur y oeste de África) y

si efectivamente mantuvieron un tipo de caza como el descrito por Krantz, consistente en una larga y persistente carrera persiguiendo a la presa a través de la sabana (mucho antes de desarrollar las técnicas de caza corporativa y bien organizada del grupo atribuidas por primera vez al *Homo erectus*) (Tobias, 1971), entonces los cambios evolutivos más conspicuos del cerebro del hombre debieron tener relación no tanto con la memoria como con una adaptación asociada al aumento del estrés por calor producido por este tipo de conducta. En tales supuestos, Fialkowski propone que los cazadores prehumanos debieron estar muy pobremente adaptados al estrés por calor y como resultado probablemente desarrollaron, durante sus largas correrías, temperaturas cerebrales muy altas, con la consecuente muerte de muchos individuos y con serio peligro del resto para mantener su capacidad para cazar. Precisamente, junto a la muerte de muchos individuos prehumanos, algunos otros, con cerebros al azar más grandes y capaces de resistir por ello mejor el calor, sobrevivieron y se reprodujeron.

Pero, ¿qué relación existe entre un cerebro grande y su mejor adaptación al calor ambiental? Fialkowski sugiere, basándose en las ideas de Von Neuman (1963), un especialista en matemáticas y computación, que tras largas carreras en la sabana africana la temperatura sanguínea pudo aumentar lo suficiente como para limitar la función de las neuronas. De acuerdo con Von Neuman es posible obtener un sistema que funcione (cerebro), incluso si sus elementos componentes malfuncionan (neuronas afectadas por el calor), siempre que haya suficientes elementos (neuronas) e interconexiones entre los elementos. En esencia, lo que apunta Fialkowski es análogo a lo que apunta Krantz en relación a la memoria: individuos con cerebros más grandes tendrían cerebros más resistentes al calor que individuos con cerebros más pequeños.

Por todo lo expuesto, es posible que el calor y la memoria pudieron ser dos de los factores, entre otros muchos igualmente importantes (por ejemplo, la no ciclicidad receptiva de las hembras, el retardo cada vez mayor de la formación del cerebro en contacto con el medio ambiente externo), que convergieron y desencadenaron presiones selectivas hacia la adquisición de cerebros más grandes. Ello nos lleva a considerar, y nos fuerza a admitir, que las capacidades del *Homo habilis* para la construcción de herramientas, comunicación con sus semejantes y creación de nuevos estilos sociales de vida habrían sido, en parte, la consecuencia y no la causa del aumento inicial del tamaño y reorganización del cerebro del hombre durante la evolución. De hecho es en el *Homo habilis* cuando ya aparecen evidencias de herramientas construidas y además es en él, como veremos después, en quien se da la primera reorganización del cerebro con la aparición en el polo frontal (anterior) de los primeros esbozos del área de Broca (lenguaje).

Ya desde el *Homo erectus* surgen esas otras presiones selectivas, llamémosles culturales, que llevaron y continuaron la selección hacia cerebros más grandes. De hecho, en el *Homo erectus* ya se reconoce el refinamiento de las herramientas y la diversificación del tipo de utensilios, descubrimiento del fuego, posible comienzo de

rituales y caza organizada en grupo. Con todo, sin embargo, ya hemos visto que el cerebro del *Homo erectus* sólo tiene el 65% del volumen del cerebro que luego poseerá el *Homo sapiens*. La simbolización y la capacidad de comunicación (encontrados ya en el cerebro del *Homo habilis*) se especula que fueron las principales fuerzas o presiones selectivas que llevaron hasta la formación del cerebro del hombre actual.

Un factor que debió ser progresivamente importante y determinante para que a su vez la cultura se convirtiera en un poderosa fuerza selectiva fue la proporción cada vez mayor de cerebro que se construye en inmediato contacto con el medio ambiente externo, es decir, fuera ya del claustro materno. Ya he señalado anteriormente que desde hace unos 6-8 millones de años (desde los póngidos precursores del hombre y los antropoides actuales) el cerebro no parece haber cambiado el peso con el que se nace. Ello supuestamente ha debido dar lugar a una potenciación de la cultura como presión selectiva para la supervivencia.

Progresión, regresión y reorganización del cerebro humano

La progresión, regresión y reorganización son los procesos que han ocurrido en esa vertiginosa carrera que en estos pocos millones de años ha llevado a la aparición final del cerebro humano actual. En este tiempo, y desde el australopitecino, el cerebro ha sufrido, además de un aumento relativo de su tamaño, una reorganización (la reducción de unas áreas cerebrales y la expansión de otras) y un cambio de ese patrón general de progresión del cerebro que se había seguido hasta entonces.

Ralph Holloway (1995), con el estudio minucioso de moldes de cerebro obtenidos a partir de los cráneos encontrados de las diferentes especies de homínidos, sugiere tres principales cambios o reorganizaciones. La primera, quizá el mayor cambio ocurrido en la evolución humana, sucedió hace unos 3-4 millones de años (ya en los Australopitecinos *afarensis* —400 gramos de peso de cerebro—), y en ella hubo una reducción del área visual primaria (área 17 de Brodmann) y una relativa expansión del resto de la corteza visual occipital no estriada (áreas 18 y 19 de Brodmann). Junto a ello hubo una expansión selectiva de las cortezas parietales posteriores (área 7 de Brodmann) y de la corteza parietal inferior (giro angular-área 39 de Brodmann y giro supramarginal-área 40 de Brodmann).

La segunda, ocurrida hace unos 2-3 millones de años, fue un aumento pequeño del tamaño global del cerebro (principalmente relacionado con el aumento del tamaño del cuerpo). Junto a ello hubo un cambio, desde el patrón del cerebro del póngido de mínimas asimetrías cerebrales, a un patrón del cerebro humano con un aumento de la especialización hemisférica y un mayor grado selectivo de tamaño del occipital izquierdo y del frontal derecho. Esto parece muy claro en el *Homo habilis,* pero pudiera haber ocurrido ya en el australopiteco africano (440-450 gramos de peso de cerebro).

La tercera, ocurrida hace unos 2,5 a 1,8 millones de años, fue una reorganización del

lóbulo frontal, participando principalmente la tercera circunvolución inferior frontal, conocida como área de Broca (área 44 de Brodmann), hacia una morfología externa definitivamente humana y más evidente en ciertas muestras del *Homo habilis* (750 gramos de peso de cerebro).

Finalmente ocurrieron otros pequeños cambios en esa carrera hacia el cerebro del hombre actual. Tres de ellos destacan sobre los demás. El primero, ocurrido hace unos 1,5 a 0,5 millones de años, fue otro aumento del cerebro (quizá asociado a un aumento del peso del cuerpo) y una acentuación de las asimetrías de las cortezas cerebrales derecha e izquierda. Ello parece evidente en los fósiles de *Homo erectus* (de 800 a 1.000 gramos de peso de cerebro).

El segundo ocurrió hace unos 100.000 años con un mayor refinamiento en las asimetrías cerebrales hacia la configuración definitiva del *Homo sapiens* y un aumento relativo del peso del cerebro (1.200 a 1.700 gramos de peso de cerebro, *Homo sapiens neanderthalensis*).

El tercero ocurrió hace unos 10.000 años, con una reducción en el volumen del cerebro posiblemente relacionada con una disminución del peso del cuerpo (*Homo sapiens,* 1.400 gramos de peso de cerebro).

Haciendo resumen de las condiciones ambientales y conductuales que inicialmente produjeron una selección natural hacia el aumento del tamaño del cerebro, ya en páginas anteriores resaltamos las de la memoria y posiblemente el calor ambiental en que vivieron los primeros homínidos. Junto a ello, muchos autores destacan una presión selectiva hacia la conducta social y la comunicación. Efectivamente, la aparición del refinamiento en la construcción de objetos e instrumentos es paralelo o coincide con la expansión de las áreas de la corteza parietal posterior que tiene que ver con la integración de información visual y táctil y su expresión en la conducta motora (manos), lo que justificaría plenamente la aparición de estas capacidades para la manipulación de instrumentos. Y también la comunicación, en tanto que hay una expansión de la corteza parietal inferior (áreas 39 y 40 de Brodmann) que participan en la recepción del lenguaje y en la comunicación no verbal (áreas globalmente conocidas como área de Wernicke) (primera reorganización).

La segunda gran reorganización, la de la corteza frontal, área 44 de Brodmann (área de Broca), tuvo que ver con ese gran acontecimiento que fue posiblemente la aparición de las formas más rudimentarias del lenguaje. ¿En qué medida esta especialización frontal (área de Broca) del cerebro del *Homo habilis* le confirió a éste cierta capacidad de expresión oral más allá de la simplemente gutural? ¿Fue el *Homo habilis* capaz de elaborar sonidos específicos y correspondientes a cosas y animales concretos? ¿Pudo ya el *Homo* de hace dos millones de años y con sólo 700 cc de cerebro poseer ese poderoso instrumento de comunicación que le debió hacer enormemente capaz frente a las demás especies animales?

La tercera gran reorganización tuvo que ver con la parcelación en uno y otro cerebro

(corteza cerebral derecha e izquierda) de funciones y las diferencias sexuales en esa distribución funcional.

Con todo, las áreas de asociación, es decir, las no relacionadas con el control sensorial o motor, son las que se han desarrollado paralelas a la adquisición de las capacidades mentales. Durante la evolución, estas áreas de la corteza cerebral, prefrontal y cortezas parieto-temporales, han aumentado selectivamente el número de neuronas (las llamadas extraneuronas cuya lesión no afecta funciones sensoriales o motoras). Como una estimación (probablemente equivocada en cuanto a número absoluto de neuronas), se ha sugerido que en estas áreas a través de la evolución se han acumulado en el chimpancé, 3.400 millones de estas extraneuronas; en el Australopitecino, 4.100 millones; en el *Homo habilis*, 5.500 millones; en el *Homo erectus*, 7.000 millones, y en el *Homo sapiens*, 8.500 millones (Tobias, 1971; Jerison, 1973).

¿Ha concluido la evolución física del cerebro humano?

Nadie puede contestar esta pregunta. Pero no carece de sentido pensar acerca de ello. ¿Qué podría justificar pensar que la evolución biológica del cerebro humano ha terminado? Con frecuencia se esgrime el argumento de que el rápido progreso cultural ocurrido en los últimos dos milenios, con un cerebro similar al del hombre de hace unos 50.000 años, justifica sobradamente la idea de que el cerebro del hombre actual, tal cual está ya genéticamente preprogramado, es suficiente para una evolución cultural sin límites y sin necesidad de una evolución física y biológica del mismo. Nuestra cultura, se dice, ha creado un medio ambiente tan seguro y estable que cercena los posibles determinantes (ambientales) por los que eventuales cambios genéticos se expresen y seleccionen en una determinada dirección evolutiva. Por el contrario, desde la biología no hay lugar para pensar que la evolución humana esté acabada. Así lo señala Ayala (1994):

> El que la humanidad continúa evolucionando puede probarse demostrando que las condiciones necesarias y suficientes para la evolución biológica se dan en la especie humana: estas condiciones son variabilidad genética y reproducción diferencial (selección natural).

De ser ello así como parece, y en el caso de que la humanidad no se extinga muy tempranamente, ¿cabría esperar una consecuente evolución del cerebro humano en la misma línea que lo acontecido hasta ahora; es decir, una nueva reorganización física del cerebro? Recientemente se ha sugerido que la evolución del cerebro (en los precursores del hombre primero y en la misma especie humana después) fue facilitada por cambios en el control genético de ese proceso plástico en el que se reajustan y eliminan o conservan neuronas y sinapsis durante la infancia y adolescencia (Rapoport, 1999) (véase capítulo 2 de este libro). Se sugiere, además, que las nuevas presiones selectivas

del medio ambiente en una determinada dirección (fueren éstas las que fueren) pudieran promocionar el crecimiento y estabilización de redes neuronales inmaduras preexistentes en el cerebro humano durante el desarrollo, pero que en el hombre actual cuando adulto se pierden o eliminan. Un nuevo medio ambiente exigente, pero imposible de predecir, podría determinar que cambios genéticos azarosos con expresión en esas redes pudieran aparecer en el cerebro humano de futuras generaciones (Rapoport, 1999).

Junto a ello, ¿es posible concebir que otras formas de reorganización, esta vez no anatómicas y preestablecidas como las que acabamos de mencionar, fueran la base de un nuevo proceso reorganizativo del cerebro? Hoy sabemos (véanse los capítulos 6 y 7) que son los patrones y los códigos de tiempo los que organizan las altas funciones del cerebro, léanse procesos cognoscitivos y conciencia. Códigos ciertamente desconocidos y al parecer hasta individuales. ¿Pudiera suceder que presiones selectivas ambientales condujeran a cambios genéticos que supusieran nuevos códigos de interconexión funcional, entiéndase nuevos patrones de descarga neuronal e interconexión temporal de circuitos y entre circuitos?

La esencia de esta última idea es que el proceso evolutivo y la presión de selección en este caso, ya no iría en la dirección de cambios anatómicos básicos del cerebro como antaño (aumento del volumen), ni siquiera de cambios profundos en la anatomía fina sináptica, sino en nuevos códigos de distribución de la misma con sólo pequeños cambios en el substrato neuronal ya existente. ¿Puede el nuevo ambiente cultural del hombre representar una presión selectiva, biológica, en esa dirección?

CAPÍTULO 2

LA CONSTRUCCIÓN DEL CEREBRO HUMANO. CIEN AÑOS DE HISTORIA INDIVIDUAL

> El nómada a caballo en la Mongolia exterior y el astronauta en el espacio, son personas diferentes, pero, que sepamos, si hubieran sido permutadas en el momento de nacer hubiera cada uno de ellos tomado el lugar del otro.
>
> BURRHUS F. SKINNER. *Más allá de la libertad y la dignidad.*

En el primer cuarto del siglo XX, Gilbert Seldes escribió que

> el hombre es una criatura de la circunstancia, tanto, que si cambiáramos los ambientes de treinta pequeños hotentotes y treinta niños de la aristocracia inglesa, los aristócratas se convertirían en hotentotes en todos los detalles de la vida práctica y los hotentotes serían pequeños conservadores.

Pero ¿qué es ese ambiente que determina la conformación última del hombre? Skinner, en 1971, ya refería las palabras de Seldes preguntándose a su vez ¿qué hay en el ambiente que produce a un hotentote? ¿Y qué haría falta modificar para producir en su lugar un conservador inglés? Seguimos sin poder dar mucha contestación a la primera pregunta. Algo más de contenido tendría nuestra contestación a la segunda: haría falta modificar las conexiones del cerebro del hotentote.

El cerebro humano no es sólo un órgano especial entre todos los demás órganos, sino, con mucho, el órgano supremo del organismo. Y no sólo por lo que representa como órgano máximo a través del cual el hombre se torna conocedor y hacedor en el mundo, sino también como órgano en sí mismo, por su enorme complejidad y funcionamiento. Piénsese que más del 50% del genoma humano está dedicado a la construcción del cerebro. De hecho, el hombre es, en esencia, su propio cerebro.

El cerebro humano contiene unas 10^{12} neuronas, es decir, unos 100.000 millones, y unas 10^{15} sinapsis, esto, es un millón de billones (un trillón) de sinapsis. Junto a ello el cerebro contiene casi un billón de otras células neurales, la glía, sin las cuales las neuronas no podrían realizar su función. Todo ello constituye un complejo y heterogéneo universo de conexiones con las que se procesa la información recibida del mundo externo (todo lo que nos rodea) e interno (de nuestro propio cuerpo, lo que incluye el cerebro). Todas estas conexiones entre neuronas que acabamos de mencionar conforman unidades discretas de funcionamiento que llamamos circuitos. Cada neurona tiene una completa individualidad con respecto a las otras. Sin embargo, cada neurona conecta con otras neuronas en un número aproximado de 1.000 a 10.000, número de las que, a su vez,

puede recibir conexión y comunicación. De hecho, una sola neurona de la corteza cerebral, las grandes células piramidales, puede tener entre 30.000 y 40.000 especializaciones receptivas del árbol dendrítico llamadas espinas. Estas espinas, a su vez, reciben varios contactos sinápticos de otras tantas neuronas. En sólo uno de esos contactos sinápticos el tráfico molecular con el que se transfiere la información es enorme. Esto último constituye ese inextricable árbol de casi un trillón de conexiones. Cada una de estas conexiones microscópicas (sinapsis) es ya de por sí una complicada maquinaria en la que juegan el espacio, el tiempo, la física y la química. Las neuronas comunican entre sí la información gracias a uno o múltiples mensajeros químicos que salvan el espacio físico existente entre ellas; son los neurotransmisores.

Las conexiones entre neuronas se han establecido en el cerebro de los individuos como resultado de la interacción entre el programa genético y el medio ambiente que se habita (sensorial, afectivo y emocional y cultural). La plasticidad del cerebro quiere indicar, a su vez que estas conexiones no son fijas, sino que pueden ser modificadas, bajo múltiples circunstancias, a lo largo de casi toda la vida. Todo ello nos da una idea de la casi infinita gama de variables, sobre todo en lo que a trasiego de información se refiere, que a nivel de ajuste fino puede manejar el cerebro.

El proceso por el que se llega a la construcción final del cerebro adulto es una odisea. Un proceso acelerado y estocástico. Por ejemplo, se estima que durante el desarrollo del cerebro intraútero, el número de neuronas crece a razón de cientos de miles por minuto. Es más, durante el desarrollo intraútero y después, tras el nacimiento, en los primeros años de vida, se pueden crear de 30.000 a 50.000 sinapsis por segundo en cada centímetro cuadrado de la corteza cerebral (la corteza cerebral adulta tiene unos 2.200 cm2). ¿Cómo se organiza esta vorágine de conexiones que dan finalmente lugar al cerebro y la conducta humanas?

De la incertidumbre a la singularidad

El genoma humano, recientemente secuenciado, contiene entre 80.000 y 100.000 genes, es decir, entre 80.000 y 100.000 trozos (porque eso es un gen) de esa gran molécula trenzada que llamamos ácido desoxirribonucleico o ADN. El genoma contiene unos 3.000 millones de pares de bases. Su complejidad de funcionamiento se alcanza a ver cuando hemos sabido que tan sólo el 10% del ADN es codificador; es decir, transcribe a ácido ribonucleico (ARN) y proteínas (los bloques o unidades con los que se construye cualquier órgano de nuestro organismo, lo que incluye el propio cerebro). El resto de ese ADN, el 90%, es regulador de los procesos de codificación.

Hasta hace muy poco pensábamos que «el dictado genético» en el desarrollo y formación del cerebro, tanto el del ser humano como el de cualquier otro mamífero antes del nacimiento, era bastante monolítico y fijo. Hoy sabemos que el desarrollo del cerebro de cualquier ser vivo es un proceso muy versátil. El dictado genético no es tal dictado,

sino más bien un «proyecto» que puede desarrollarse por diferentes caminos en función del «medio ambiente» en el que se desarrolle ese proyecto. Es cada vez más evidente que las barreras entre lo genético y lo ambiental se han roto, como también se han roto las barreras entre lo bioquímico, la morfología, la fisiología y la conducta. Todo ello es un «continuum» espacio-tiempo. En ese proceso continuo, que sazonado constantemente por el medio ambiente va del gen a la bioquímica y de ésta a la morfología y la función, se crea un ser único y genuino.

Pero... ¿sabemos qué es un gen?

El término gen engloba hoy un concepto y un significado biológico muy complejo, como lo es también el de medio ambiente. Por ejemplo, la expresión (el funcionamiento) de muchos genes es modificada a varios niveles:

1. Por la actividad de otros genes del genoma.
2. Por el medio ambiente celular.
3. Por el medio ambiente extracelular.
4. Por el medio ambiente externo al organismo.

Todo esto resume el camino andado desde Mendel hasta los conceptos actuales. Es decir, desde la idea de que un gen da lugar a un solo fenotipo, a la idea de que la expresión fenotípica de un gen puede variar dependiendo del medio ambiente en el que lo haga. De hecho, Wilson habla de «tendencias genéticas», «predisposiciones genéticas» o «inclinaciones genéticas». Todo ello se resume señalando con Dobzhansky (1973) que «los genes y el medio ambiente son dialécticamente interdependientes a través del desarrollo de cada individuo» (Rose, 1998). Las cosas se complican todavía más cuando el producto final del trabajo de un determinado gen, la síntesis de una proteína con su correspondiente secuencia de aminoácidos (su estructura primaria), se transforma en estructura secundaria y terciara, dependiendo del medio ambiente nuclear y celular. Ello condiciona, en parte, la función de esa proteína y sus consecuencias en la construcción o función de ese determinado organismo.

Los genes, también es verdad, son los grandes arquitectos de las grandes morfologías de los seres vivos, puesto que determinan con órdenes estrictas las grandes líneas maestras del desarrollo de las especies. Es claro que en el desarrollo «normal» de un chimpancé, su cerebro siempre será el de un chimpancé y, hasta donde sabemos, no habrá error posible en el sentido de que nunca pueda convertirse en el cerebro de un gato y menos en el cerebro de un ser humano.

El medio ambiente no es sólo sol y aire

Pero los genes no dictan de igual modo la arquitectura de las pequeñas morfologías, por

ejemplo, la construcción del enigmático entrecruzado de los árboles dendríticos de la corteza cerebral. Y es en esa «pequeña» labor en donde máximamente está el juego de la relación genes y medio ambiente. Señalaba Gerald Edelman (1999) en una conferencia reciente que las arborizaciones de ocho células nerviosas (clones de una sola célula) eran distintas unas de otras. Y también que durante el desarrollo del cerebro (véase más adelante) la emigración neuronal desde las zonas matrices periventriculares no son idénticas en los cerebros clonados (pareciera como si el principio de incertidumbre de Heisenberg para la física lo fuera de alguna manera igualmente para la biología).

El concepto genérico de medio ambiente es complejo, según hablemos de medio ambiente a nivel del genoma de la célula, fuera de la célula, fuera del organismo y este último durante el desarrollo en el claustro materno o en el medio físico y social fuera de él. Y todo ello, además, a lo largo de los muchos y diferentes periodos por los que atraviesa el organismo. Efectivamente, no es lo mismo el desarrollo del cerebro dentro del claustro materno que en contacto con la riqueza de ese otro medio ambiente externo, físico y social. Ambos resultan en cambios diferentes en el desarrollo del individuo. El medio ambiente del claustro materno, por ejemplo, ya representa un medio ambiente cuyos cambios resultan a su vez en posibles cambios del cerebro del embrión y del feto. Se ha sugerido, incluso, que embriones que ocupan diferentes ambientes en el útero materno, aun compartiendo la misma carga genética (gemelos univitelinos), sufren cambios diferentes en el desarrollo de su cerebro (Rose, 1998).

Un ejemplo último ilustra con suficiente claridad la versatilidad de la expresión genética y su interdependencia con el medio ambiente. Cuenta Rose:

> En bastante número de casos en donde genes que codifican para proteínas que se supone tienen funciones vitales para la célula han sido eliminados (los así llamados mutantes *knock-out*), la ausencia tanto del gen como de la proteína cuya síntesis codificaba parece tener muy poca influencia para la vida normal del animal. En estos casos, el ratón parece que tiene un fenotipo al menos aparentemente normal. ¿Quiere esto decir —se pregunta Rose— que era falsa nuestra creencia de que la proteína era esencial y que desempeñaba un papel vital para la función celular? Nada de eso. Por el contrario, es una demostración de que un sistema vivo tiene una enorme plasticidad de desarrollo; es decir, posee la capacidad de adaptarse a cambios del medio ambiente y compensar las deficiencias. En otras palabras, posiblemente haya muchas vías alternativas por las que la célula y el organismo pueden optar durante el desarrollo y lo pueden llevar a un punto final esencialmente idéntico. Con la presencia de un gen y una proteína particular se adopta una vía. En su ausencia se adopta otra vía. En resumen, no hay necesariamente una línea directa entre gen y organismo.

El medio ambiente se torna morfología y función

Sería como la figura obtenida tras modelar un trozo de arcilla. La figura no está en la arcilla (gen) aun cuando tampoco existiría sin ella. La figura «se crea» por el modelado constante del medio ambiente físico (sea este sonido, visión, tacto, gusto, olfato, etc.) sobre la arcilla. El cerebro del hotentote, y por tanto el hotentote mismo, no lo sería sin el medio ambiente en el que viven los hotentotes, lo que incluye a los propios hotentotes. Al final, pues, de esa interacción entre cerebro, genes y medio ambiente, la figura obtenida tiene un significado que no es arcilla ni es la mano que la modela. Es figura. Figura única y singular. Hay que romper con la idea de que el medio ambiente sólo «suaviza» o «ajusta» el desarrollo fijamente programado por los genes y aceptar la idea de que durante el desarrollo gen y medio ambiente (arcilla-modelador) se convierten en significado, «creando» códigos de funcionamiento únicos pero a su vez cambiantes.

Esta dinámica genes-medio ambiente como base para la construcción de los cerebros, es mayor para aquellos seres vivos que tienen un mayor tiempo de desarrollo fuera del claustro materno. El ejemplo máximo de ello se puede dar con el desarrollo del cerebro del chimpancé y del hombre. Ambas especies nacen con un peso de cerebro de alrededor de 350 gramos. Sin embargo, desde ese momento, mientras el cerebro humano alcanza un peso final, cuando adulto, de unos 1.400 gramos, el del chimpancé sólo llega a los 450 gramos. Esto nos indica que el chimpancé nace ya con alrededor del 60-65% del peso final de su cerebro, en tanto que el ser humano nace sólo con el 20-25%. Es decir, más del 75% del peso total del cerebro humano se obtiene en inmediato contacto con el medio ambiente. Y es este medio ambiente el que cincela la sinaptología final del cerebro durante el desarrollo.

Precisamente, el desarrollo final y la obtención del peso máximo del cerebro humano no se alcanza hasta los 25-30 años de edad. Al final de este proceso de desarrollo, y como ya hemos señalado anteriormente en este mismo capítulo, el cerebro de cada ser humano es distinto en su morfología, tanto externa como interna. En el último Congreso Mundial de Psiquiatría (1999), Nancy Andreasen, catedrática de Psiquiatría de la Universidad de Iowa en Estados Unidos, mostró, utilizando la técnica de Tomografía por Emisión de Positrones, cómo la morfología externa de la corteza cerebral de ocho individuos era diferente entre ellos. Lo sorprendente fue ver que también (como así lo mostró) la morfología externa de la corteza cerebral de varios gemelos monocigóticos (misma carga genética) era diferente, lo que nos confirma la poderosa influencia del medio ambiente en el que vive el individuo humano para formar su cerebro. Todo ello nos lleva, además, a la idea de que no sólo durante el proceso de crecimiento o desarrollo, sino durante toda la vida, el cerebro cambia constantemente su bioquímica, anatomía y fisiología, conformando las bases de la singularidad e individualidad del ser humano (Kandel, 1991).

La formación del cerebro humano: una aventura

Durante los diferentes periodos de la vida del ser humano (que van desde un tiempo antes del nacimiento hasta la propia senescencia), el cerebro sufre toda una serie de cambios marcados por dos procesos paralelos que ya hemos señalado. Por un lado, el proceso «duro» de la gran arquitectura del cerebro dirigido por esos genes esculpidos a fuego por el propio proceso evolutivo. Es decir, lo que conforma la visión o configuración «externa» del cerebro humano. Por otro, el proceso de «bordado» fino, «interno», dirigido por unos genes que responden al medio ambiente del individuo. Ambos procesos son sincrónicos y de su armonía nacerá el individuo humano hecho acorde a la cultura de su tiempo.

Cerebro por fuera

Apenas un par de semanas después de la fecundación comienza la aparición de las primeras células con características neurales y tras ellas, en un embrión apenas visible de alrededor de un milímetro, comienza la formación de los primeros rasgos anatómicos del cerebro con el surco neural.

El peso del cerebro aumenta exponencialmente desde entonces (apenas alcanzado el gramo) hasta el nacimiento, momento en el que se alcanza un cerebro de alrededor de 350-380 gramos de peso. Desde el nacimiento hasta los dos años el peso aumenta hasta los 900-1.000 gramos. A partir de los dos años y hasta los 25-30 años, el cerebro aumenta su peso de una manera más lenta. Aunque se pueden distinguir dos periodos de crecimiento relativo y que destacan en esta etapa. Un periodo que transcurre desde los dos años hasta la pubertad y otro desde ésta hasta la adolescencia. A partir de los 18 años el peso del cerebro se incrementa muy poco hasta alcanzar finalmente los 1.400-1.450 gramos, alrededor de los 25-30 años. Desde entonces se mantiene constante hasta alrededor de los 50 años. Y es a partir de esa edad cuando se inicia un ligero descenso que se manifiesta más claramente desde la década de los 70 años. A partir de esa edad y hasta los 90 años, el cerebro pierde unos 125 gramos de peso en comparación al peso de la edad adulta (Mora y Peña, 1998).

Cerebro por dentro

Pero ¿cómo se construye el cerebro humano por dentro hasta alcanzar ese kilo y medio de peso? ¿Cómo puede una única célula, el huevo fertilizado, dar lugar a los diferentes tipos de células de los diferentes sistemas y aparatos del organismo (hepáticas, renales, neuronales) y después las células neuronales a los distintos tipos (más de mil) que a su vez tiene el cerebro humano? (Mora y Sanguinetti, 1994).

Ya en la década de los cincuenta, Jacques Monod y François Jacob propusieron que la diferenciación celular se alcanza por la activación de un grupo específico de genes que

expresa o pone en funcionamiento cada tipo celular diferente. Es evidente que cada célula del organismo contiene completo el genoma de ese organismo pero también que no todo ese genoma se expresa funcionalmente en todos los momentos del desarrollo. Lo que sucede es que durante el desarrollo hay una cascada, una secuencia en el tiempo, en que sólo unos genes se ponen en actividad pero no otros. Y tras ello, aquellos genes activados se silencian y despiertan otros. Y así sucesivamente. Para que en cada uno de estos periodos unos genes se activen, otros deben estar inhibidos. En la jerga de los bioquímicos moleculares estas activaciones e inhibiciones son puestas en marcha en la célula por «inductores» y «represores» de genes, es decir, por proteínas dentro del núcleo de cada célula que se unen a esas secuencias de ADN (genes) y con ello regulan la trascripción (copia) a ARN. Estas mismas proteínas reguladoras vienen a su vez controladas por otras proteínas de la célula.

La complicada maquinaria puesta en marcha por estas proteínas reguladoras de la transcripción y los mecanismos de su control definen los dos principales programas, por lo que unas células (neuronas) se diferencian de otras (por ejemplo hepáticas) y se construyen así los diferentes órganos del organismo o las diferentes células de un mismo órgano, como es el cerebro. Estos dos principales programas son, por un lado, el linaje celular (neuronas), que se produce por mecanismos intrínsecos celulares. Por otro, la posterior diferenciación en tipos, que se producen por mecanismos moleculares extracelulares (interacción neurona-neurona). Este último proceso se establece a su vez por otros dos mecanismos principales: los contactos de medio y largo alcance. En los contactos neurona-neurona de alcance medio desempeñan un papel importante las neurotrofinas, o factores de crecimiento nervioso, descubiertas por Rita Levi Montalcini en los años cincuenta. Hoy sabemos que estas proteínas constituyen sólo un tipo de los muchos de una gran familia de moléculas (Mora y Sanguinetti, 1994). En los contactos de largo alcance tienen un papel importante las hormonas.

¿Cuál es la configuración interna neuronal y glial del cerebro (corteza cerebral) y su desarrollo a lo largo de la edad del individuo? La inmensa complejidad del cerebro humano comienza a fraguarse propiamente tras el establecimiento de la forma externa más esencial (alrededor de los dos meses posgestación). En ella se pueden distinguir ya claramente las distintas partes anatómicas básicas que constituirán el futuro cerebro, como son el tronco del encéfalo, el cerebelo, el diencéfalo y la corteza cerebral con sus tres polos, frontal, occipital y temporal.

Las neuronas emigran desde sus lugares de nacimiento

Desde este momento y a partir de células matrices (neuroblastos) hay una producción desbordante de neuronas. Cientos de miles por minuto. En la formación de la corteza cerebral y las diferentes capas que la constituyen hay un proceso migratorio muy interesante. Hoy se conocen en parte los procesos genéticos por los que se producen la

división de estas células matrices y su posterior diferenciación en esos lugares del cerebro, ya lejanos, a los que emigran.

Efectivamente, desde sus lugares de origen en una parte profunda del cerebro, las zonas periventriculares, las neuronas emigran y se desplazan a sus lugares de destino final en la corteza cerebral. Este periodo migratorio tiene lugar entre los tres y los cinco meses posgestación. En este viaje, el espacio a recorrer es considerable. En realidad son decenas de miles de veces la longitud de su propio cuerpo neuronal. Lo curioso es que estas neuronas hacen su peregrinaje trepando por las cuerdas que previamente se han lanzado desde el destino final a donde van a emigrar las neuronas. Estas cuerdas conectan el origen o punto de partida de las neuronas y su destino final en el que van a quedar localizadas. Estas cuerdas son las prolongaciones de otro tipo de células nerviosas, la glía, cuyas células se han desplazado antes que las neuronas, a modo de primeros escaladores, desde las zonas periventriculares y al ritmo en el que se ha extendido la morfología externa cerebral.

La neurona, pues, escala o trepa a lo largo de esta glía, llamada radial, hasta alcanzar su sitio de destino en la corteza gracias a los mecanismos bioquímicos en los que fue pionero Gerald Edelman. Tanto las neuronas que emigran como las células de la glía sintetizan unas proteínas (las CAM, Cell Adhesion Proteins) que se reconocen y muestran simpatía entre ellas adhiriéndose unas a otras, de forma que una CAM neuronal reconoce a una CAM glial y se adhiere a ella y es de esta manera que reconocimientos sucesivos proveen el mecanismo de ascensión necesario. El destino final en la corteza cerebral y el lugar preciso dentro de ella se alcanza, además, por la secreción, por parte de las primeras células que allí ascendieron, de moléculas específicas capaces de atraer a las siguientes. Éstos son los factores tróficos de crecimiento. Es la especificidad y el alto gradiente de concentración de estos factores lo que determina que unas neuronas y no otras sean atraídas a sus destinos finales específicos.

Somos muchas, organicémonos

En este proceso se producen y emigran muchas más neuronas de las que finalmente constituirán el cerebro final. Es este un proceso, la organización neuronal, que comienza alrededor de los cinco meses posgestación y no termina, dependiendo de las áreas del cerebro que se consideren, hasta bien entrada la infancia media y alta (7-12 años) y en algunos casos, como la corteza prefrontal, hasta la adolescencia (14-18 años).

Las neuronas que emigran se organizan, constituyendo la arquitectura básica del cerebro en un ordenamiento orquestado por la maquinaria genética. Es este un periodo en el que junto a los genes desempeñan un papel muchos otros factores microambientales, como son los factores de crecimiento neural, las hormonas circulantes y multitud de otras sustancias químicas que son como pequeños organizadores capaces de poner cada cable en su sitio.

Junto a la producción de este número en exceso de neuronas que se producen en el desarrollo del cerebro, se sucede un proceso casi paralelo sorprendente: la muerte de neuronas. Esta muerte de neuronas constituye también un proceso altamente crítico. Aun cuando el número de neuronas que mueren durante el desarrollo es variable, según las regiones del cerebro que se considere, aproximadamente el 50% de una población neuronal concreta que ha emigrado a su sitio de destino final muere antes de la maduración neuronal final. Por ejemplo, en áreas específicas de la corteza cerebral humana, como son el área 4 de Brodmann (área motora, que tiene que ver con la progresión y ejecución de la conducta) y áreas 10 y 44 de Brodmann (áreas de asociación y que tienen que ver con los procesos mentales), se ha estimado que desde el nacimiento hasta los 15 años de edad el área 4 pierde (neuronas piramidales) el 75,5%; el área 10, el 66%; y el área 44, el 45,5% (Mora y Peña, 1998). Este proceso de muerte neuronal viene programado, por un lado, por la expresión de genes específicos (muerte neuronal programada —apoptosis—) y, por otro, por la competitividad de las neuronas por la cantidad de factores tróficos y hasta el propio espacio en donde finalmente van a recalar. Esta pérdida neuronal parece que cumple las funciones de un ajuste cuantitativo a las necesidades reales de la función que va a desarrollar esa área del cerebro, pero también por la eliminación de proyecciones aberrantes o incorrectas (refinamiento de conexiones o corrección de posibles errores).

El cincel del escultor

Esta muerte neuronal se sigue de una posterior reorganización con un segundo proceso regresivo de axones y dendritas, por un lado, y un aumento, por otro. Es este un proceso realizado durante un periodo altamente crítico para el desarrollo normal del cerebro. La experiencia y el contacto con el mundo externo en relación a esta sinaptogénesis (formación de sinapsis) y eliminación de sinapsis es importante no sólo para los sistemas sensoriales y motores, sino para los sistemas responsables de las más altas funciones cognoscitivas («mentales»). Es como si la naturaleza operase a modo de escultor partiendo de una gran masa de mármol y desdeñando trozos de él para dejar finalmente la escultura definitiva. Esto lo hace el cerebro «martilleado» constantemente por el medio ambiente. Todo este proceso de «esculpir» el cerebro por el medio ambiente consiste, pues, en la eliminación de los elementos neuronales, axones y dendritas que ya no son útiles, al menos en relación a la información concreta que ese individuo recibe y procesa.

Tomemos un ejemplo, el de la corteza visual. En esta área del cerebro hay un aumento de la formación nueva de sinapsis progresiva y rápida entre los dos y cuatro meses tras el nacimiento, tiempo crítico para el desarrollo de la función de la corteza visual. El máximo de este proceso se alcanza entre los cuatro y ocho meses tras el nacimiento. Después de este tiempo hay una pérdida de sinapsis que progresa de modo importante hasta los cuatro años. A la edad de 11 años se han perdido hasta el 40% de

las sinapsis en esta área de la corteza cerebral.

Otro ejemplo. El de la corteza frontal. Aquí se sigue un patrón diferente de progresión-regresión neuronal, lo que naturalmente se relaciona con sus funciones desarrolladas más lentamente (mentales) y en un tiempo posterior a las funciones visuales. En esta área del cerebro, la riqueza máxima de sinapsis se alcanza a los dos años aun cuando continúa hasta los siete. La eliminación de sinapsis en esta área del cerebro también alcanza un 40%, pero esta vez a lo largo de mucho más tiempo (no antes de los 20 años) y de modo más gradual.

Finalmente hay unos procesos progresivos consistentes en un aumento del tamaño de las neuronas que permanecen vivas en las áreas donde emigraron. Este proceso es paralelo al primero, ya señalado, de regresión de las neuronas. Tomemos sólo un ejemplo y para un periodo concreto. En las áreas del cerebro que anteriormente señalábamos (4, 10 y 44 de Brodmann) sólo desde los 12 a los 18 años hay un aumento en el tamaño de las neuronas del 8,33% en el área 4; del 52% en área 10 y del 72% en el área 44. Esto tiene consecuencias importantes para entender los profundos cambios que se siguen en el cerebro durante el difícil periodo de la adolescencia del individuo humano.

Todos estos procesos ocurren en cada área del cerebro a tiempos diferentes y en función de los propios tiempos ontogénicos (o de desarrollo de cada área) y de la propia filogenia. La visión y sus áreas cerebrales son las primeras en organizarse (supervivencia) comparadas con la aparición de las áreas de asociación, como la corteza prefrontal (procesos mentales). De ello también se aprende otra lección interesante: estos cambios del cerebro acontecen en un momento crítico del desarrollo y a medida que se abren y se cierran las ventanas plásticas a su entorno (sensorial, motor, emocional y de altas funciones mentales o cognoscitivas) (véase el siguiente capítulo).

Pero no sólo es el número de neuronas y sus conexiones el que tiene ese remodelado que acabamos de describir. También ocurre este proceso con otras células cerebrales que son la glía. Precisamente, el número de células gliales aumenta proporcionalmente al descenso del número de neuronas. De hecho, el cerebro adulto tiene unas diez células gliales por cada neurona (el volumen total de la glía es más del 50% del total del volumen ocupado por el Sistema Nervioso Central).

En la actualidad sabemos que la glía tiene un papel muy relevante junto a las neuronas. Hoy se considera a la glía el elemento celular indispensable para el buen funcionamiento neuronal. La función de la neurona no se realiza adecuadamente sin un microambiente estable, limpio y alejado de todo «ruido» químico que no sea el de su propio funcionamiento. Y es de eso precisamente de lo que se encarga la glía, limpiando de desechos metabólicos y aportando además precursores para la síntesis de neurotransmisores, factores inmunológicos, etc. La glía es algo así como todo lo que se oculta en la tramoya de un teatro, es decir, personas (glía) que aparentemente no tienen ninguna relevancia en la obra que se interpreta en el escenario por los actores (neuronas), pero que limpian, bajan y suben decorados, ponen los focos adecuados e impiden que

nada interrumpa el buen hacer de esos actores. Sin ellas, sin la glía, ningún actor podría realizar adecuadamente su trabajo. Junto a ello la glía desempeña un papel relevante en ciertas patologías del sistema nervioso (Nieto-Sampedro y Mora, 1994).

¿Envejece el cerebro?

La edad adulta reproductiva es el límite biológico que la naturaleza marca para la mayoría de las especies animales. Sólo el ser humano y quizá muy pocos otros mamíferos rompe esa regla y envejece al amparo de sus congéneres. La verdad es que el capítulo del envejecimiento humano, junto con el de la adolescencia, son los grandes enigmas de la Neurociencia. ¿Qué efectos tiene el proceso de envejecimiento *per se* sobre el cerebro? Simplemente no lo sabemos. No sabemos qué factores o determinantes ambientales cincelan al cerebro durante ese periodo de la vida. Una cosa es clara, el proceso de envejecimiento, como el del mismo desarrollo que acabamos de ver, depende muy estrechamente del medio ambiente en el que vive el individuo. Un aborigen en la selva o en la sabana envejece mucho más aceleradamente que otro individuo en el entorno de una ciudad de nuestro mundo occidental o, incluso, que aquel mismo aborigen viviendo en nuestras ciudades.

Lo que acabo de reseñar nos indica que nuestro conocimiento sobre el proceso de envejecimiento en el ser humano y en el mundo occidental refiere al ambiente físico-social actual de nuestra sociedad, lo que incluye no sólo los hábitos dietéticos y alimentarios, sino sedentarios o de ejercicio, tabaco, alcohol y un largo etcétera. Baste decir que en estudios longitudinales (aquellos en los que el estudio se ha seguido en el mismo individuo a lo largo de años) sobre el efecto de la edad en uno de los sistemas mejor estudiados del organismo, el cardiovascular, se ha puesto de manifiesto que los déficits funcionales consecuencia de la esclerosis de los vasos coronarios, aumento de tejido conectivo que reemplaza la atrofia de fibras musculares cardiacas, el aumento de la presión arterial debido a una progresiva pérdida de la elasticidad de las arterias, se deben, en buena medida, a factores externos (alimentación, sedentarismo) y no al envejecimiento *per se* (Mora, 1999).

Estos estudios, junto con otros sobre el sistema respiratorio, muscular, metabólico (glúcidos) y óseo (osteoporosis), permiten creer que los aspectos del declinar funcional fisiológico en el envejecimiento son en parte dependientes del modo de vida y que, por tanto, pueden ser modificados y hasta cierta edad ralentizada su aparición. Ello nos invita a pensar que este capítulo sobre los efectos fisiológicos del envejecimiento está en completa y activa revisión. Tal cosa ocurre además con nuestros recientes conocimientos acerca del proceso de envejecimiento del cerebro.

Efectivamente, el cerebro humano envejecido no deja de manifestar sus propiedades plásticas y, por ende, de cambiar su estructura y función acorde a los parámetros que en buena medida dicta el medio ambiente. Además, descubrimientos recientes nos han

llevado a cambiar drásticamente conceptos sobre el envejecimiento y el cerebro ya casi universalmente asumidos como inamovibles. Ello incluye el dictado cajaliano de que célula nerviosa que muere en el Sistema Nervioso Central es célula que nunca más será reemplazada.

A lo largo de estos últimos años no sólo hemos podido comprobar en el ser humano que muchas neuronas rejuvenecen y aumentan su árbol dendrítico como compensación a esas otras neuronas que envejecen y lo reducen, sino que en animales de experimentación y para un área crucial para el proceso de memoria como es el hipocampo, nacen y crecen nuevas neuronas. Efectivamente, ratones adultos, que viven en condiciones de actividad óptimas (juego, ruedas de rotación, exploración por túneles, etcétera) frente a ratones que viven aislados desarrollan hasta un 60% más de células granulosas en la circunvolución dentada del hipocampo. El bienestar y la actividad potenció la neurogénesis incluso en ratones muy viejos, cuya producción basal de neuronas está por debajo de la tasa juvenil (Kemperman y Gage, 1999; Gould *et al.*, 1999).

Este descubrimiento mostrando que el cerebro es capaz de generar nuevas neuronas puede cambiar la perspectiva del proceso de envejecimiento de aquí a no muchos años. Dos nuevos datos apuntan en esta dirección. Primero, saber que neuronas nuevas no sólo se producen en el hipocampo, como acabamos de señalar, sino también en áreas importantes de las cortezas de asociación, las que codifican para las así llamadas funciones superiores o «mentales», como son la corteza prefrontal, la corteza inferotemporal y la corteza parietal posterior (Gould *et al.*, 1999). Segundo, saber que la potencialidad de generación de neuronas nuevas permanece durante el envejecimiento a un nivel similar al del cerebro adulto (Cameron y McKay, 1999), sólo inhibido por ciertas hormonas (corticoides) que aumentan con la edad. Esto último abre puertas terapéuticas e incluso fisiológicas no predecibles.

Al final, algo más sobre genes y medio ambiente

La estrecha interrelación genes-medio ambiente se expresa en las grandes patologías neurodegenerativas. Por ejemplo, la enfermedad de Parkinson o las enfermedades así llamadas mentales (esquizofrenia) y que sin duda son enfermedades del cerebro (Mora, 1999).

Estudios en gemelos monocigóticos (misma carga genética) muestran la discordancia en cuanto a padecer enfermedades como el Parkinson, esquizofrenia o psicosis maniaco-depresiva. Es decir, un gemelo padece la enfermedad y otro no. Hay dos posibles respuestas a este fenómeno; o bien hay un defecto genético que en un ambiente determinado, pero no en otro, permite su expresión y la aparición de la enfermedad o que estas enfermedades son causadas enteramente por el medio ambiente, lo que casi definitivamente no parece ser el caso (Mora, 1999).

La esquizofrenia es una enfermedad en la que es más difícil desvelar la compleja interacción entre herencia y medio ambiente, quizá por aquello de que los procesos mentales son la máxima expresión de ese juego interactivo entre el individuo (genes) y todo aquello que le rodea (medio ambiente). Estudios sobre gemelos monocigóticos han mostrado, por ejemplo, una discordancia en esquizofrenia del 60%: de 100 parejas de gemelos en las que uno de ellos padece esquizofrenia, sólo en el 40% de los casos el otro hermano ha padecido también la enfermedad. De igual modo, se ha mostrado que el 60-70% de la descendencia de parejas en que padre y madre fueron esquizofrénicos no es esquizofrénica (Kringlen y Cramer, 1989).

En línea con estos datos está otro estudio realizado en Noruega sobre los hijos de gemelos univitelinos en que uno de los hermanos fue hospitalizado por psicosis esquizofrénica. El estudio mostró que no hubo ninguna diferencia significativa en cuanto a la incidencia de esquizofrenia entre los hijos de los gemelos psicóticos y los no psicóticos (Gotterman y Betelsen, 1989).

Todo ello no nos debe llevar a la extrañeza, dado que como hemos visto en este mismo capítulo gemelos univitelinos «normales», aun compartiendo el mismo genoma, no comparten un cerebro similar, sino que poseen cerebros anatómica y funcionalmente diferentes (Andreasen). Es más, entre gemelos univitelinos esquizofrénicos y aquellos que no lo son estas diferencias parecen mucho más acentuadas. Por ejemplo, las diferencias anatómicas más significativas fueron encontradas para los esquizofrénicos, en el mayor tamaño de los ventrículos laterales y el tercer ventrículo, en el lóbulo temporal, en ambos hipocampos (derecho e izquierdo) y en el volumen total de sustancia gris en el lóbulo temporal izquierdo (Suddath *et al.*, 1990).

Una idea firme y definitiva aparece como final: genes y medio ambiente son una unidad dialéctica y determinante para el desarrollo normal y patológico del cerebro. Dialéctica tan exquisita que requiere ser realizada en tiempos diferentes para adquirir adecuadamente funciones distintas. Son las ventanas plásticas o periodos críticos del cerebro que veremos en el capítulo siguiente.

CAPÍTULO 3

LAS VENTANAS PLÁSTICAS O LOS TIEMPOS CRÍTICOS DEL DESARROLLO DEL CEREBRO HUMANO

> El organismo en su desarrollo, en su ser y llegar a ser, en su especificidad y su plasticidad construye su propio futuro.
>
> STEVEN ROSE. *Lifelines.*

> Toda explicación psicológica termina tarde o temprano por apoyarse en la Biología.
>
> JEAN PIAGET. *Psicología de la Inteligencia.*

El cerebro cambia a lo largo de toda la vida del individuo. Cambia en la física y en la química, cambia en su morfología y consecuente a ello cambia en su función. Ello no quiere decir que el cerebro pueda hacer todo o contenga una potencialidad igual para desarrollar cualquier función en cualquier momento, esto parece evidente. No se aprende, ni se memoriza y recuerda, ni se elaboran los grandes pensamientos, ni se logran las grandes realizaciones del ser humano igual a los 25 que a los 80 años por mucho que haya grandes excepciones; es decir, individuos capaces de crear a edades avanzadas obras de calado intelectual. Con frecuencia se cita el caso de Bernard Shaw que escribió varias obras cumplidos los 80 años (Ginebra, 1938) e incluso alguna otra habiendo cumplido ya los 90.

A lo largo de la vida del hombre hay periodos críticos o «ventanas plásticas», pasadas las cuales si el individuo no ha tenido la relación correspondiente con su entorno específico, difícilmente volverá a desarrollar ciertas capacidades. Ventanas plásticas que se abren y se cierran no sólo a lo largo del periodo propiamente de desarrollo del ser humano (desde el nacimiento a la edad adulta), sino también en la misma edad adulta, en la propia vejez y desde luego en la aparición de las patologías neurodegenerativas que pueden afectar a muchas y diversas funciones del cerebro.

Pero no sólo en esa perspectiva, llamémosle «normal», podemos considerar esos «periodos críticos» o «ventanas plásticas». Hay otras ventanas casi únicas y altamente selectivas y excepcionales. Son aquellas que se abren en el cerebro de los genios: es el desarrollo exagerado de unas cualidades, las más de las veces logradas a expensas del desarrollo de otras. Tal es el caso, por ejemplo, de algunos genios de la música.

Un símil puede ayudar a comprender mejor cuanto acabo de decir acerca de los periodos críticos. La construcción viva del ser humano y su cerebro son como la construcción de un coche que se transporta a lo largo de la cadena de montaje (genética)

y en cada punto a lo largo de la misma un mecánico (medio ambiente) ajusta una pieza nueva. Pieza que requiere ser ajustada en ese punto de la cadena y no en otro. Pieza, además, que tras ser ajustada, a su debido tiempo, sigue su propio desarrollo e influye poderosamente en el ajuste y desarrollo de otras piezas que se montan después. Muchas piezas además (léase funciones diferentes) pueden ser ajustadas en paralelo e influyéndose recíprocamente, al tiempo que influyendo en otras. Entender que el desarrollo del cerebro humano es un «continuum» como «globalidad» pero discontinuo y asincrónico «en sus partes», en el que todo lo previo (genes-medio ambiente) es tan importante como lo nuevo (genes-medio ambiente) es fundamental. Lo nuevo no es nuevo sino en tanto que integrado en lo viejo. Sin este proceso asincrónico pero coordinado de incorporación de funciones al cerebro, el coche (el cerebro) sale, de algún modo, defectuoso.

Hoy empezamos a saber que estas ventanas plásticas o periodos críticos, en los que un medio ambiente específico debe estar necesariamente presente en un lapso de tiempo determinado y no en otro para conformar los circuitos neuronales a lo largo del desarrollo, son absolutamente fundamentales para muchas funciones del cerebro, como el habla, la visión, la emoción, las habilidades para la música o las matemáticas o, en general, los procesos cognoscitivos o «mentales». Incluso empezamos a conocer que hay periodos críticos diferentes para la formación de los subsistemas o componentes de esas funciones que acabamos de mencionar. En la formación del lenguaje, por ejemplo, parece que es diferente el proceso de adquisición de la semántica (significado de las palabras) versus la sintaxis (construcción del lenguaje) o en la visión, la adquisición de los diferentes componentes del objeto visto, como son el color, la forma o el movimiento cuyo periodo de duración puede ser de meses o años. Es más, parece que existen no sólo ventanas para los grandes sistemas o subsistemas, sino microventanas con una duración de horas o días en la conformación molecular de esos microcircuitos por el medio ambiente. Recientemente se ha descrito un periodo crítico selectivo de apenas 24 horas en la eliminación de sinapsis en el cerebelo en desarrollo (Kakizawa *et al.*, 2000).

Un primer encuentro con el mundo

El caso de ventana plástica más claro y definitivo en el mundo biológico es aquel descrito por Konrad Lorenz en las aves y que se conoce como *imprinting*. Las aves siguen al primer objeto que se mueve delante de ellas tras salir del cascarón, y éste es generalmente la madre. Puede durar sólo unas horas tras romper el cascaron. Pasado ese tiempo se pierde (Lorenz, 1966)

Para el ser humano, una de las primeras ventanas que le abren al mundo es probablemente la que le permite sentir la piel de su madre. El tacto es quizá el primer anclaje que tiene el ser humano con el medio que le rodea. Y además el tacto seguirá siendo para el resto de su vida la referencia sólida para al menos las cosas que nos

mantienen vivos: comer, beber y reproducirnos. Las cosas son «cosas reales», como lo eran para los griegos, en tanto que se tocan. Es curiosa esta observación, y se hace todavía más curiosa cuando sabemos, por ejemplo, que para un griego ilustre como fue Pitágoras las cosas vistas sólo podían ser reales en tanto que la luz, emergiendo de nuestros ojos, las tocaba como pequeños dedos. Ésta fue quizá una «extraña» (para nosotros) «científica» explicación de cómo la luz podía proveernos del conocimiento «real» del mundo. Junto a ello y durante los primeros años de vida se abren muchas otras ventanas que van desde las correspondientes al resto de los sentidos a aquellas otras, como son el mundo emocional y afectivo, el desarrollo de la conducta motora y el mundo intelectivo.

Las ventanas que nos abren al mundo de los sentidos

En lo sensorial, una deprivación temprana de la visión impide el desarrollo normal de este sentido para el resto de la vida del individuo. Qué duda cabe que ello se corresponde con esos cambios en la organización cortical de las neuronas y sinapsis que ya hemos descrito y que se suceden de modo acelerado entre los dos y los cuatro meses tras el nacimiento.

Los estudios iniciales de Marius von Senden (1932) ya mostraron que niños recién nacidos con cataratas a los que, posteriormente, cuando tuvieron la edad de 12-14 años, se les operó y pudieron volver a ver, no fueron capaces, durante muchos días, de reconocer ningún objeto sólo con la visión. Tras mucho entrenamiento empezaron a reconocer visualmente las cosas más familiares, pero casi siempre ayudados de una exploración final del tacto y nunca se consiguió que este reconocimiento visual fuera completamente normal.

Hay experimentos hechos en gatos y primates que dan fundamento neurobiológico a lo observado en los niños de Von Senden. Hubel y Wiesel, estudiando el registro de la actividad neuronal unitaria del área visual cortical primaria (área 17 de Brodmann), mostraron que si se sutura, cerrando completamente, el párpado del ojo de un gato recién nacido y se mantiene así durante los seis primeros meses de vida, al cabo de los cuales se abren de nuevo los párpados, muy pocas neuronas de esa área tienen respuestas a los estímulos de ese ojo.

El problema reside en que no se desarrollan propiamente las columnas de dominancia ocular en la corteza cerebral, siendo muy grandes las que reciben información del ojo sano y muy pequeñas las que la reciben del ojo que ha sido ocluido desde el nacimiento. Estos efectos de la deprivación de visión temprana son irreversibles. Sin embargo, este mismo periodo de seis meses sin visión de un ojo en el adulto o tras haber pasado el periodo crítico en el que la información es necesaria para la formación de las columnas, no tiene ningún efecto sobre la visión.

En los niños recién nacidos es tan crítico el periodo de los primeros meses tras el nacimiento que hasta la deprivación de visión de una semana puede tener marcados

efectos para la futura visión del niño. Hoy se sabe que en la visión, el desarrollo de sus diferentes circuitos en la retina, tálamo y sus muchas áreas corticales que codifican diversos aspectos del mundo visual, como son las formas, el color, el movimiento, etc., se desarrollan con ventanas plásticas que se abren a tiempos diferentes (Sherman, 1985; Neville, 2000). Tal plasticidad, sin duda alguna, alcanza a todos y cada uno del resto de los sistemas sensoriales.

Las ventanas de compensación

Hoy sabemos, además, gracias al uso de las nuevas tecnologías en imágenes por resonancia magnética, tomografía por emisión de positrones o potenciales evocados, que los sistemas sensoriales, en particular visión y audición, cambian y aumentan la finura y sensibilidad de su funcionamiento como respuesta de compensación a los defectos o falta de un sistema sobre el otro. Así, en niños que son sordos de nacimiento se ha observado que la visión puede compensar en parte la función auditiva aumentando la capacidad de los sujetos de percibir información en áreas muy periféricas de sus campos visuales, cosa que no sucede en personas normales (Neville, 2000). Sin embargo, si la sordera se produce en un niño después de los cuatro años, normalmente el sistema visual no desarrolla la compensación de la función visual antes descrita. También un estudio reciente ha mostrado que ciegos de nacimiento tienen una mayor capacidad de resolución del origen de un sonido (detección espacial) frente a sujetos normales (Roder, 1997). Esto nos habla por un lado de una ventana plástica que se abre tras el nacimiento y dura hasta los 3-4 años. Y también nos habla de las interconexiones neuronales plásticas entre los sistemas visuales y auditivos que disminuyen o se pierden pasados los periodos críticos.

No deja de ser menos cierto que también existe esta relación de compensación entre los sistemas somatosensoriales y visuales. Recientes estudios utilizando tomografía por emisión de positrones (PET) han demostrado una mayor capacidad para la discriminación táctil de objetos en los ciegos de nacimiento o con deprivación visual muy temprana. Es más, los ciegos a edad temprana mostraron claramente una actividad neuronal en áreas visuales (corteza occipital) mientras efectuaban tareas de discriminación táctil (por ejemplo, leer Braille) (Sadato *et al.*, 1996). Un estudio complementario mostró además que la estimulación magnética de áreas visuales (corteza occipital) induce a errores en las pruebas de discriminación táctil en los sujetos con deprivación visual temprana, cosa que no ocurre en sujetos con visión normal (Cohen *et al.*, 1997). Éstos son datos claramente indicativos, una vez más, de esa ventana plástica de interconexión neural entre los diversos sistemas sensoriales (en este caso, sensorial y táctil) que pasado cierto tiempo, 3-4 años, se pierde. Sin duda, tal periodo, cuya temporalidad y duración exacta desconocemos, representa una salvaguarda para el individuo y su supervivencia.

El encendido de la conducta

El recién nacido, durante los primeros seis meses de vida, intercambia comunicación con el mundo a través principalmente de la madre. El sistema límbico y las emociones empiezan a conformarse en esos primeros sonidos de tonalidad festiva. Son los sonidos que imprimen seguridad, alertan de la comida y de la bebida, y crean esa emoción de sentirse bien con el mundo. ¿Qué comunicación tiene la madre con el recién nacido y durante los primeros meses sino aquel del lenguaje emocional, el de los gestos y las onomatopeyas?

Precisamente las emociones se codifican en una parte importante del cerebro humano, el llamado cerebro límbico, un complejo sistema de núcleos y conexiones del que todavía no conocemos los códigos de funcionamiento. Sí sabemos que algunas áreas del cerebro límbico tienen espacios de maduración distintos al de otras, por ejemplo la corteza cingulada (isocórtex), áreas 23 y 24 de Brodmann, termina su maduración a los cuatro años, mientras que las áreas 31 y 32 de Brodmann terminan mucho después, alrededor de los siete años (Bogolepova, 1997) (véase el capítulo siguiente sobre las emociones).

En lo emocional y lo social hay también ventanas plásticas selectivas fundamentales para el desarrollo normal del ser humano. Los experimentos del matrimonio Harlow son ilustrativos al respecto, al demostrar que la deprivación temprana de afecto produce en los primates efectos desastrosos para el futuro desarrollo emocional del individuo. Efectivamente, Harry y Margaret Harlow (1958) estudiaron monos *rhesus* recién nacidos separados de sus madres durante seis meses a un año y comprobaron que los monos desarrollan conductas aberrantes como, por ejemplo, estar siempre en un rincón de la jaula arrollados sobre sí mismos, realizando movimientos repetitivos sin sentido aparente alguno, y retorciéndose constantemente. Cuando estos monos fueron puestos en una jaula en compañía de otros monos, no mostraron ninguna interacción emocional o social (como lucha o competencia) ni de juego. Tampoco mostraron estos monos mucho interés sexual por las hembras y cuando lo hacían, realizaban torpes y anormales intentos de copulación. Estas mismas experiencias de aislamiento se repitieron en otra serie de experimentos, pero esta vez con una «madre de trapo» en la jaula. Los resultados mostraron que, al menos en parte, estas conductas mejoraron en los animales.

Los estudios de Spitz en los años cuarenta (1945) sobre el valor de la interacción social temprana para el desarrollo emocional también son ilustrativos al respecto. Este autor hizo un estudio comparativo a lo largo de varios años entre niños abandonados que fueron recogidos y cuidados por monjas en un orfelinato y niños criados en una guardería anexa a una prisión de mujeres y cuidados por sus propias madres ciertas horas al día. Estos estudios mostraron, tras los tres primeros años de vida, que los niños criados en el orfanato comparados con los cuidados por sus madres presentaban un mayor retraimiento, poca curiosidad y gran facilidad para las infecciones. La conclusión final de esta investigación es que una reducción severa del contacto social y emocional

del ser humano en edades tempranas (la madre) tiene un resultado catastrófico para su desarrollo emocional.

Los niños que hablaban el idioma de Dios

La adquisición del habla por los niños es quizá la ventana plástica más claramente establecida. Cuenta un jesuita, el padre Catrou, allá por el año 1705, que el emperador mogol Akbar Khan mandó aislar doce niños recién nacidos al cuidado de personas sordomudas, de manera que quedara prohibido el contacto verbal con ellos. Quería averiguar el emperador cuál era el idioma genuino del hombre, aquel que Dios le dio en el inicio de su despertar como hombre y con el que, por primera vez, se comunicó con sus semejantes. Cuando los niños tuvieron 12 años, los mandó llamar a su presencia. Antes, sin embargo, mandó reunir a sabios conocedores de todas las lenguas para, entre todos, tratar de descifrar el posible lenguaje de los niños. Lo extraordinario e inesperado para el emperador fue que, una vez los niños estuvieron ante él, éstos no fueron capaces de hablar nada. Los niños eran mudos y solamente eran capaces de comunicarse con signos. Parece evidente, pues, que el habla no es algo con lo que se nace. Se nace con la potencialidad de hablar, pero sólo el aprendizaje logra convertir en hecho aquello que solamente está en potencia. Quizá, como señala Blakemore (1977), el emperador sí descubrió el verdadero origen del lenguaje. Esto es, el lenguaje de los gestos o expresiones corporales como medio más primitivo de comunicación.

Pero ¿cuándo en el desarrollo del niño aparece el habla?, ¿hay mucho tiempo disponible para que el cerebro adquiera esas capacidades? Dado que, con las limitaciones que se quiera, cualquier idioma puede ser aprendido a cualquier edad, ¿puede un niño que nunca haya oído hablar previamente aprender a hablar en cualquier momento? Dicho de otra manera, ¿hubieran podido los niños del emperador mogol aprender a hablar a partir del momento en que fueron a su presencia; es decir, a partir de los 12 años? La respuesta es no. Si un niño no ha oído hablar nunca a sus semejantes antes de los siete o los ocho años, nunca después podrá hacerlo o, desde luego, lo hará con enormes dificultades y limitaciones. La ventana plástica del lenguaje se cierra alrededor de esa edad. Sin embargo, como mostraron los niños de Akbor Khan, éstos pueden tener un desarrollo emocional y afectivo y de relación con sus semejantes bastante normal. Ello muestra claramente la especificidad en el tiempo de las ventanas plásticas o periodos críticos del cerebro.

Un niño llamado Johan

La historia de Johan es también ilustrativa al respecto. Johan es un niño que vivía en un orfelinato en Burundi. Fue encontrado por unos pastores cerca de Rumonge a las orillas

del lago Tanganika cuando sólo tenía cuatro años. Se cree que fue abandonado en 1972, durante la guerra entre las tribus watusi y hudu. Al parecer, debió sobrevivir de modo salvaje conviviendo y formando parte de una colonia de chimpancés. En el momento de su captura estaba completamente desnudo, era muy velludo y andaba, como los chimpancés, utilizando brazos y piernas. Tras ser recogido por las monjas y durante los cuatro años que vivió en el orfelinato, no habló ni una sola palabra. Johan se comunicaba con expresiones faciales y gesticulaciones corporales explosivas. Hasta donde relata esta historia, tiempo en que Johan cumplió ocho años (periodo crítico en donde termina la adquisición del lenguaje), no había aprendido a hablar (Blakemore, 1977).

Es curioso el proceso ontológico del lenguaje. Johan se expresaba con gestos y vocalizaciones; es decir, conservó el lenguaje más primitivo, el que posiblemente tuvieron los antecesores del hombre y el propio ser humano en su primer año de vida, y que conservan los chimpancés a lo largo de toda su existencia. Expresiones faciales, gesticulaciones corporales y vocalizaciones.

Hoy lo sabemos bien. Los circuitos que codifican para el habla se modifican por el aprendizaje específico de una lengua, en un proceso que va desde los pocos meses tras el nacimiento hasta esa edad de alrededor de los siete años. Se ha sugerido que circuitos neuronales de las partes más posteriores del cerebro, los lóbulos parietales y temporales, tienen un papel importante en la semántica o significado de las palabras, mientras que los más anteriores, frontales, lo tienen para el procesamiento sintáctico, gramatical o construcción del lenguaje. Estos últimos se conforman en un periodo posterior a los primeros (Neville y Bavellier, 2000). Y en las personas diestras estas funciones se localizan en el hemicerebro izquierdo.

Esto ha llevado a la proposición de que los circuitos que codifican para los muchos y diferentes aspectos del lenguaje están genéticamente preprogramados en ese hemicerebro izquierdo. Es de interés en este sentido el hecho de que durante el proceso ontogénico de adquisición del lenguaje, en un periodo estimado alrededor de los 12-14 meses de edad, los efectos de la comprensión de las palabras pueden registrarse tanto en las áreas anteriores como posteriores de ambos hemisferios, derecho e izquierdo. Sin embargo, hacia los dos años estos mismos efectos sólo producen activación de las áreas del hemicerebro izquierdo. Ya para entonces, por tanto, ha ocurrido la lateralización izquierda del lenguaje. Curiosamente, este proceso de lateralización de los circuitos del habla en la corteza cerebral izquierda para la mayoría de los seres humanos es lento, ya que no termina hasta aproximadamente alrededor de los cuatro o los siete años. Al parecer, los circuitos del hemicerebro derecho aunque silentes conservan cierta potencialidad durante bastante tiempo.

Genie

Esto último lo ilustra el caso de Genie, una niña que al parecer vivió completamente

aislada de todo contacto humano hasta los 13 años. Tras ser rescatada, Genie no era capaz de expresión verbal alguna y se procedió a un intenso programa de aprendizaje para recuperar el habla. Tras dos años de intenso entrenamiento, Genie sólo logró expresarse verbalmente con monosílabos. Lo extraordinario de este caso es, sin embargo, que estas nuevas facultades no las desarrolló en su cerebro izquierdo, donde se localizan los circuitos del habla para las personas diestras, sino en su cerebro derecho. Supuestamente, los circuitos de su cerebro izquierdo cerraron su capacidad plástica para el lenguaje, a la edad que ya hemos señalado de alrededor de los siete u ocho años (Curtis, 1974).

Todo lo relatado refiere al lenguaje articulado, hablado. Sin embargo, el lenguaje simbólico no necesariamente requiere ser expresado en palabras. La misma función se puede realizar con otro acto motor: el de los gestos. Y para este último los substratos neurales de la corteza cerebral son diferentes a los del lenguaje hablado. Por ejemplo, estudios muy recientes han puesto de manifiesto que en el aprendizaje de un idioma, como es el lenguaje americano de los signos ASL (American Sign Lenguage), que requiere de una visualización espacial y percepción de movimientos, el hemisferio derecho participa junto al izquierdo en su adquisición (Neville y Bavelier, 2000).

Precisamente, el lenguaje, como los sistemas sensoriales o los cognoscitivos más generales, tiene diferentes periodos críticos para los diferentes componentes de esta compleja función. Ya hemos mencionado la semántica versus la sintaxis en cuanto a los circuitos del cerebro. Estudios recientes, además, han mostrado cambios en el cerebro al aprender un segundo idioma y cómo estos cambios se ven afectados de modo diferente según la edad del individuo. Es más, estos cambios son también diferentes dependiendo de que la función refiera al procesamiento gramatical o al semántico. Así, si al aprender ese segundo idioma el individuo es mayor de 40 o 50 años, el procesamiento gramatical (construcción del lenguaje) es más difícil de adquirir que el semántico (significado de las palabras).

Los tiempos del computador motor

La conducta motora humana también se aprende. Sin duda, que corre paralela a la del propio lenguaje. En parte, el lenguaje articulado o el propio lenguaje gesticular es una conducta motora. Los dos o tres primeros años de vida son fundamentales. En ellos el niño graba los preprogramas motores que utilizará durante el resto de su existencia. Es en este periodo que el niño repite y repite incesantemente conductas como son las de coger un objeto con sus manos y luego lanzarlo lejos de sí. Tras ello se desplaza hasta el objeto, lo vuelve a coger y repite la operación. Este «juego», aparentemente aleatorio, posee un profundo significado biológico. Lo que está haciendo el niño con este juego es medir y grabar (ensayo-error), en tiempos de patrones neuronales, las distancias de todo aquello que conforma y conformará su inmediato entorno personal cuando adulto. Estas

medidas y sus errores son grabados como preprogramas en varias partes del cerebro, como son los ganglios basales, el cerebelo y la propia corteza motora y premotora. Preprogramas a los que posteriormente se echará mano cada vez que, cuando adulto, el ser humano extienda de forma voluntaria su brazo y su mano para coger un objeto que ve en su entorno y que motiva su conducta.

En la niñez (dos primeros años de vida) se graban preprogramas motores básicos; es decir, aquellos que ajustan el acto motor voluntario a coger objetos en el inmediato entorno personal. La finura y sofisticación de movimientos, sin embargo, que son los que utiliza el ser humano en un entorno social sofisticado, requiere más años de aprendizaje. Johan, a los ocho años, tras más de cuatro de aprendizaje en el orfanato, tenía graves dificultades en realizar actos motores coordinados simples, incluso aquéllos tan elementales como manipular una manivela para abrir una puerta.

Que durante la edad adulta se pueden seguir grabando preprogramas motores nuevos para realizar un acto motor voluntario fino lo demuestra el que podamos aprender, a esa edad, a escribir a máquina, jugar al golf o tocar el piano. Nunca, sin embargo, ese aprendizaje cuando adulto (por ejemplo, tocar el piano) llega al nivel de sofistificación y finura de ejecución que cuando se aprende en los primeros años de la vida.

Al igual que ocurría con los sistemas sensoriales, en los que una interconexión entre ellos existía en los primeros años de vida, la misma potencialidad plástica existe para los sistemas motores. Por ejemplo, la ablación de la corteza motora en este periodo temprano y la consecuente eliminación de la vía córtico-espinal contralateral hace que se desarrolle una vía córtico-espinal ipsilateral desde el hemicerebro intacto (vía o potencialidad que es eliminada en el desarrollo normal de un individuo sano).

Los tiempos críticos de la adolescencia

Otro periodo clave en el desarrollo es el de la adolescencia. Es este un periodo de profundas transformaciones en la personalidad y la conducta del individuo. En ellas se suceden grandes cambios biológicos como consecuencia, entre otros, de los cambios hormonales de la pubertad. Periodo de gran fragilidad psicológica, en donde los pilares, hasta entonces firmes de la relación familiar y también social se cimbrean. Periodo, en muchos individuos, de entrega a las banderas del altruismo y la solidaridad, que contrasta, al menos aparentemente, con la entrega a los radicalismos y a las conductas agresivas, violentas e irracionales. Periodo, pues, de referentes nuevos, tanto emocionales como sociales, y en el que el entorno familiar y social desempeñan un papel crítico en conformar y adquirir ese «yo» individual con el que el ser humano se convierte en adulto maduro e independiente.

También en este periodo se suceden cambios importantes en el cerebro humano. Pero quizá sea éste, el periodo de la adolescencia, el peor conocido para la Neurociencia. Sí sabemos, por ejemplo, que durante este periodo hay una profunda remodelación de la

corteza cerebral (de asociación, lo que incluye la corteza prefrontal) responsable, en parte, de todas las funciones superiores (intelectuales) del individuo humano. Ya vimos en el capítulo 2 que en estas áreas frontales hay una profunda remodelación, con una pérdida del número total de neuronas y consecuente pérdida de dendritas y sinapsis (hasta los 20-25 años) (Huttenlocker y Dabholkar, 1997), comparadas a otras áreas de la corteza (motoras) o visuales (4-8 años) y también que las neuronas que permanecen ya definitivamente en esas áreas aumentan mucho más de tamaño y volumen comparadas de nuevo con esas otras áreas motoras (Mora y Peña, 1998). Otros cambios de este periodo de la adolescencia incluyen no sólo la mielinización de esas áreas de asociación (prefrontales), sino también y de modo sobresaliente la aparición y desarrollo de ciertos sistemas de neurotransmisores (Mora y Peña, 1998).

Propongo que esa «ventana plástica» que se abre alrededor de la pubertad y la adolescencia es como un *imprinting* cerebral del marco social de referencia del individuo en ese periodo de desarrollo. El que, previa la disposición cerebral de ese mismo individuo (genética, hormonal, educativa y emocional), le imprime «a fuego» una conducta, un modo de procesar la información por su cerebro y una forma de actuar en el mundo.

Conocer los mecanismos por los cuales opera el cerebro emocional en estas edades tempranas y cómo procesa y codifica ese complejo ingrediente de carga genética, carga ambiental biológica, educación y cultura en el contexto de una invasión hormonal crítica que «abre» el cerebro y fija nuevos patrones de conducta «individual», es absolutamente imprescindible para conocer las raíces biológicas de la conducta durante la adolescencia.

Las ventanas de la enfermedad

La historia de las grandes patologías del ser humano nos muestra que también se abren ventanas a lo largo de la vida adulta. Hay periodos de la vida humana más susceptibles que otros a padecer enfermedades del cerebro. Cierto tipo de esquizofrenias ocurren en la edad convulsa de la adolescencia. Otras aparecen en las edades tempranas del envejecimiento, como la enfermedad de Parkinson, y otras son propias de la vejez, como la enfermedad de Alzheimer. Todo ello nos ilustra de nuevo acerca de esos periodos claves en los que a lo largo de la vida del ser humano unas ventanas se abren y otras se cierran, tanto para el desarrollo normal como para las patologías del cerebro.

Los genios

Se dice que para las grandes ciencias, las ciencias duras, físicas y matemáticas, los grandes descubrimientos se han hecho por individuos entre los 20 y los 30 años, ello incluye a los grandes genios. Precisamente los genios, aun cuando se trate de casos

enigmáticos para las Neurociencias, no dejan de tener las mismas ventanas plásticas que cualquier ser humano normal. Y, como ellos, los genios tienen los mismos tiempos de apertura y cierre de esas ventanas a lo largo del desarrollo, salvo quizá aquellas que son selectivas para su genialidad. Precisamente la genialidad o un talento poderoso es una «ventana selectiva» para una determinada parcela de conocimiento y que permite su desarrollo a niveles extraordinarios. Ello a veces va paralelo con el desarrollo escaso para otras cualidades o áreas de conocimiento para los que el genio puede ser bastante simple o incluso incapaz de comprenderlas.

Los genios en matemáticas o en la música quizá deban su enorme capacidad a una impronta genética expresada en circuitos cerebrales específicos. Pero no sólo eso es necesario y suficiente. Un medio ambiente exquisito posiblemente también sea un requisito y una exigencia casi absoluta, al menos para la música. Decía Levi-Montalcini: «Se nace genio, pero eso no significa que todo genio llegue a ser Mozart, Newton o Einstein». Efectivamente, estos circuitos que proporcionan estas cualidades extraordinarias, como por ejemplo los del habla, se construyen con la información específica ambiental a la edad correspondiente, sin duda muy temprana. Es fundamental que la información precisa del medio ambiente llegue al cerebro en el momento exacto de su desarrollo para recibirla. Sostengo que la conformación final del cerebro de un genio requiere necesariamente de la riqueza exquisita del medio ambiente en esa específica faceta de la genialidad. Un Einstein no tendría más allá de la inteligencia de un chimpancé si hubiera crecido en la selva. Bach nunca hubiese sido Bach, gran genio de la música, no sólo si se hubiese perdido en la selva tras su nacimiento, sino incluso si hubiese crecido en un ambiente familiar y social rico en cualquier otra cosa que no fuese la música. Y todavía más, si no hubiese crecido en un ambiente de la intensidad y la intimidad (familia) de circunstancias musicales en las que él vivió. Es así que sus capacidades cerebrales para la música (puesto esto último en términos muy simples) coincidieron («sintonizaron») con un ambiente riquísimo en música en un momento preciso del desarrollo del cerebro de Bach. Ambos determinantes coincidieron en su máxima intensidad de conjunción.

Aun con todo lo dicho, parece haber excepciones a la regla. Al menos tal parece ser para los genios en matemáticas. Un buen ejemplo es quizá el famoso caso de Srinivasa Ramanujan, un joven indio que trabajaba a principios del siglo XIX en una oficina del puerto de Madrás, una región muy pobre de India. Según cuenta Ramachandran (1999), Ramanujan sólo tenía una formación escolar básica pero estaba asombrosamente dotado para las matemáticas. Utilizaba sobres usados para escribir porque no podía comprar papel. Cuando cumplió los 22 años, había descubierto ya varios teoremas nuevos, cosa que le llevó a comunicarlo a varios matemáticos, entre ellos a G. H. Hardy en Cambridge, Inglaterra. Cuando el profesor Hardy recibió aquellas formulaciones en los sobres usados, escribió más tarde: «Nunca había visto nada remotamente parecido. Tenían que ser auténticas, porque nadie podía tener imaginación suficiente para

inventárselas». Hardy comprobó aquellas complicadas ecuaciones y se dio cuenta de que Ramanujan era, probablemente, un genio.

Ramanujan fue posteriormente invitado a Cambridge, donde trabajó durante años realizando grandes contribuciones a la Matemática. De la inusitada capacidad y espontaneidad matemática de Ramanujan nos da cuenta Levi-Montalcini:

> Un día que Ramanujan estaba ingresado en el hospital, Hardy fue a verle y para entablar conversación dijo que el número del taxi que le había llevado allí era el 172 y que le parecía un número bastante soso. Ramanujan le contestó: «¡Ni mucho menos Hardy! Es un número muy interesante. Es el número más pequeño que se puede expresar como suma de dos cubos de dos maneras distintas».

Tras su larga visita a Inglaterra, el joven matemático, añorante de su tierra, volvió a su aldea natal. Allí murió a los 33 años.

Llegando a alguna conclusión

Todo esto, en definitiva, nos indica que hay periodos durante el desarrollo pero también en la edad adulta y en las enfermedades del cerebro en los que, dependiendo de las funciones de que se trate, es fundamental una conjunción entre la programación del desarrollo genético y el estímulo específico del medio ambiente. Hoy se desconocen los factores que controlan la duración y la aparición precisa de estos periodos críticos o ventanas plásticas, pero sí empezamos a saber que éstos son diferentes para cada sistema funcional del cerebro. También empezamos a saber que la apertura y cierre de estas ventanas no es absolutamente rígida en el tiempo, sino que el comienzo de un periodo crítico puede acortarse y desde luego alargarse dependiendo de muchos factores. Trabajos realizados en lechuzas, por ejemplo, han mostrado que el periodo de aprendizaje de la localización auditivo-visual de un estímulo para un área concreta del cerebro, el téctum óptico, puede ser alterado por muchos factores que acortan o extienden el tiempo crítico de este aprendizaje. Por ejemplo, el tiempo crítico se acorta considerablemente si la experiencia o aprendizaje ocurre para estos animales en su ambiente natural y no en las condiciones de un laboratorio (Knudsen y Brainerd, 1995).

Todo ello nos lleva a la conclusión de que nuestras capacidades para aprender no son las mismas a lo largo de nuestra vida. Y que nuestras capacidades para un determinado tipo de aprendizaje tienen un determinado periodo más sensible que otro a lo largo del desarrollo. Y que muy posiblemente, el que se aprenda y desarrolle una capacidad específica (como conjunción de genes y medio ambiente específico) en su tiempo adecuado, sea fundamental para seguir con un posterior desarrollo y potenciación de esas y otras capacidades a lo largo de toda la vida del individuo. Las consecuencias de cuanto acabo de señalar para la educación del ser humano no tienen límites y permiten empezar

a entender la variabilidad de los talentos y capacidades que cada ser humano desarrolla en cada medio ambiente e incluso en el mismo medio ambiente.

CAPÍTULO 4

EMOCIÓN O PLANIFICACIÓN DE LA SUPERVIVENCIA

> ... Las respuestas emocionales humanas y las prácticas éticas más generales basadas en ellas han sido programadas en un grado muy importante a través de la selección natural tras miles de generaciones. Precisamente, el desafío de la ciencia es tratar de medir la rigidez de esas fuerzas causadas por la programación, encontrar sus orígenes en el cerebro y decodificar su significado a través de la reconstrucción de la historia evolutiva de la mente.
>
> E. O. WILSON. *On Human Nature.*

> Quien en medio del placer no siente deseo, quien ha abandonado todo impulso, temor o cólera... quien ni odia ni se entristece, ése está sólidamente en posesión de la sabiduría.
>
> «Bhagavad-Gita o Canto del Bienaventurado». *Mahabharata*
>
> (Poema hindú).

Imagínese a usted mismo paseando plácidamente al atardecer por un parque. Su percepción de lo que le rodea o de sus propias imágenes mentales vagan dispersas, sin un foco de atención preciso. De pronto, usted ve que una persona con cara desencajada y profiriendo amenazas parece presta, con un cuchillo en la mano, a abalanzarse sobre usted. Ante aquella fuente de peligro su cerebro, su mente y su cuerpo sufren un cambio brusco, inmediato. Usted se prepara o bien a correr o bien a luchar y defenderse. Su foco de atención se centra ahora en esa persona violenta. Su corazón golpea fuertemente el pecho, respira más deprisa y más profundamente. Su cuerpo (lo que incluye su cerebro) experimenta miles de cambios, sensoriales, motores, endocrinos, metabólicos, conducentes a facilitar la huida (correr) o el ataque (contra el enemigo). Está usted ante una fuerte reacción emocional.

Imagínese ahora que está esperando en el andén de una estación a la mujer que ama y que no ha visto en mucho tiempo. Está usted muy atento y expectante, tanto que es capaz, muy rápidamente, de distinguir su cara entre las caras de cientos de personas en el andén. Al verla, su cerebro y su cuerpo experimentan una serie de cambios. Como en el caso anterior, su corazón golpea fuertemente el pecho y usted respira más deprisa y más profundamente. De nuevo se encuentra ante una reacción emocional.

En ambos casos descritos, aun cuando muy diferentes en los estímulos, la reacción emocional es muy parecida. Y es que nuestro cerebro posee los mecanismos que de una manera única nos alertan y nos preparan o defienden ante situaciones que tienen que ver con nuestra supervivencia, sea ésta individual (el enemigo) o de la especie (el otro sexo). Los descritos, sin embargo, no son más que dos tipos de reacciones emocionales. Hay otros. Por ejemplo, la reacción ante un buen plato de comida o una buena jarra de

cerveza si se está hambriento o sediento. De todo ello se puede llegar a la conclusión de que las emociones son los mecanismos que pone en marcha el ser humano para mantenerse vivo.

Estas reacciones ante el peligro o ante cualquier estímulo placentero obedecen a mecanismos universales codificados en el cerebro de cualquier especie animal. El origen de estos mecanismos se pierde en el arcano de los tiempos. Se puede incluso rastrear hasta los seres unicelulares, hace mil millones de años, con sus reacciones de evitación ante un estímulo nocivo o de aproximación ante un alimento y se pueden seguir en las reacciones reflejas, cada vez más complejas, a lo largo de la historia de todos los invertebrados y vertebrados hasta llegar al hombre.

En todos los seres vivos la reacción emocional es un mecanismo puesto en marcha de modo automático, ya que tiene por finalidad realizarse en el menor tiempo posible. Y así, de hecho, también ocurre en el ser humano. En otras palabras, es una reacción inconsciente, en donde la activación de todos los órganos y sistemas de nuestro cuerpo, y que preparan a nuestra musculatura para atacar o correr, ocurre antes de que seamos conscientes de la situación. No podía ser de otra forma. Todo aquello que atente contra nuestra vida debe producir una respuesta rápida, de ello depende nuestra supervivencia.

Es claro que la naturaleza ha encontrado un mecanismo sabio, eficiente, capaz de mantener a todos los seres vivos unos frente a los otros. Mecanismo que ha sido conservado y perfeccionado a lo largo de cientos de millones de años en el cerebro sin cambiar la esencia de sus códigos. Con ello, realmente la naturaleza ha planificado definitivamente la supervivencia biológica.

Pero añadido a todo ello, en el hombre además, las emociones se tornan conscientes. El hombre «sabe» de sus reacciones emocionales al aflorar éstas a su conciencia. Esa sensación consciente de una determinada reacción emocional son los sentimientos. El hombre, pues, experimenta sentimientos: en el caso del ejemplo anterior, en que ocurría un ataque contra nuestra vida, sentimos miedo.

Definamos qué son emociones y sentimientos

Las emociones y los sentimientos y sus definiciones y descripciones tienen una larga historia (Damasio, 1994, 1995, 1999; Le Doux, 1999; Mora, 2000). Mora y Sanguinetti (1994) en su *Diccionario de Neurociencias* (véase Glosario) definen las emociones de la siguiente manera: «Reacción conductual y subjetiva producida por una información proveniente del mundo externo o interno (memoria) del individuo. Se acompaña de fenómenos neurovegetativos». La reacción conductual refiere claramente a algunos de los ejemplos dados al principio del capítulo. La reacción subjetiva refiere al aspecto cognoscitivo; esto es, el aspecto consciente de las emociones, los sentimientos (Delgado y Mora, 1998).

Otras definiciones sobre las emociones entran ya de lleno en el análisis de su origen y

significado. Así acorde a los ejemplos dados:

> las emociones son parte de un sistema (cerebral) que ayuda a distinguir cierta clase de estímulos, muy ampliamente identificados como estímulos recompensantes o de castigo y que sirven para actuar en el mundo (Rolls, 1999).

De todo ello se desprende, y nos lo enseña además la experiencia de todos los días, que las propias recompensas (como un buen plato de comida cuando se está hambriento, un halago personal, o la hembra para el macho deprivado de sexo) producen un estado emocional de bienestar y placer. Al contrario, el ataque de un enemigo, de un peligro con amenaza vital o social, crea un estado emocional de malestar. De igual modo, el no recibir una recompensa o placer que estábamos esperando crea un estado emocional de frustración y rabia o de bienestar cuando un castigo que esperábamos es eliminado. Es así que tanto las señales de recompensa y castigo como los cambios en estas señales, como omisión o terminación de estímulos recompensantes (placenteros) o de castigo, pueden crear diferentes estados emocionales.

Emoción y comunicación

Las emociones son, además, un poderoso instrumento de comunicación utilizado por casi todas las especies animales, incluido el hombre. De este modo, las emociones no sólo son un mecanismo de nuestro cerebro puesto al servicio de la supervivencia y de la especie en cuanto a defensa y procreación del individuo, sino que también son un mecanismo puesto en marcha para alertar a sus congéneres y aprestarlos a la lucha o la huida o la cercanía de fuentes de peligro o recompensa. De hecho, el lenguaje emocional es, sin duda, el más primitivo. Es el lenguaje que utiliza el cuerpo como vehículo de expresión. Es el que avisa de forma ruda, sin mucha sofisticación, sin palabras, del peligro, de la comida, de la evitación de la lucha inútil entre individuos de la misma especie y tribu, etc. Todo ello expresado a través del cuerpo, las posturas, las vocalizaciones (expresiones guturales específicas de cada especie), la mímica facial, etcétera.

Es un lenguaje de comunicación rápido que claramente se mantiene en el hombre. Las expresiones de agresividad, tristeza, simpatía y placer comunican al otro no sólo un estado de ánimo, sino que «alertan» e indican rápidamente cómo reaccionar ante esa persona para comunicarse más propiamente con ella. Esta rapidez de comunicación, esencial en los más primitivos estados para mantener la supervivencia individual y de la especie, vale, a veces, en el hombre, más que millones de palabras. De hecho, el lenguaje emocional es más fuerte que el de las palabras, porque está anclado en los circuitos más profundos del cerebro.

> Podemos comprender así el hecho de que jóvenes y viejos de muy distintas razas, y lo mismo en el hombre que en los animales, expresen el mismo estado de

ánimo con los mismos movimientos (Darwin).

Y no sólo es el lenguaje más primitivo en sentido filogénico (a lo largo de la evolución), sino también ontogénico (desarrollo del individuo), dado que es el que se utiliza más temprano, ya en la primera relación que se establece por ejemplo entre la madre y su hijo.

Sentimientos y perplejidad

Finalmente, como ya hemos señalado, el hombre experimenta sentimientos que, al menos en apariencia, tienen poco que ver con los mecanismos que mantienen la supervivencia, y por tanto con las emociones. Podríamos pensar que los sentimientos añaden quizá una mayor flexibilidad a la conducta humana ante las situaciones antes descritas. Lo extraordinario, además, es que ese «añadido sentimental» le ha supuesto al hombre el descubrimiento de un nuevo mundo. Es decir, le ha llevado más allá de los sentimientos inmediatos de miedo, placer o frustración y encontrar los sentimientos de bienestar ante el trabajo bien hecho o el sentimiento ante el aplauso a un hijo por su labor o conducta sobresaliente. Y, aun más lejos, a esos sentimientos, entre otros muchos, que uno experimenta y que no nacen de estímulos inmediatos biológicos, sociológicos o depositados en la memoria. Valga un ejemplo: el sentimiento profundo de perplejidad entre «estar vivo y concreto» y «vivo y diluido» en ese río de espacio y tiempo que es el Universo. Un sentimiento que yo me atrevería a llamar de infinito. Un sentimiento que se experimenta cuando el hombre en soledad y recogimiento ha perdido su sentido de existencia.

Los siete mandamientos de las emociones (Rolls, 1999; Mora, 2000)

Hemos visto que las emociones cumplen varias funciones. La esencia de todas ellas podría resumirse en siete puntos.

Primero. Las emociones sirven para defendernos de estímulos nocivos (enemigos) o aproximarnos a estímulos placenteros o recompensantes (agua, comida, juego o sexo) que mantengan nuestra supervivencia. En este sentido, además, las emociones son motivadoras. Es decir, nos mueven o empujan a conseguir o evitar lo que es beneficioso o dañino para el individuo y la especie.

Segundo. Las emociones hacen que las respuestas del organismo (conducta) ante acontecimientos (enemigos, alimentos) sean polivalentes y flexibles. Son reacciones que ayudan a encontrar no una respuesta fija ante un determinado estímulo (como es un reflejo), sino que bajo la reacción general de alerta, el individuo escoge la respuesta más adecuada y útil entre un repertorio posible. Ello se expande, enormemente, con la aparición de los sentimientos (la parte consciente de las emociones). Las emociones y los

sentimientos, de esta manera, dotan de más versatilidad a la conducta. Y ello, obviamente, es de más utilidad para la supervivencia del individuo y de la especie.

Tercero. Las emociones sirven a las funciones del punto primero y segundo, «alertando» al individuo como un todo único ante el estímulo específico. Tal reacción emocional incluye activación de múltiples sistemas cerebrales (activación reticular, atencional, mecanismos sensoriales, motores, procesos mentales), endocrinos (activación suprarrenal medular y cortical y otras hormonas), metabólicos (glucosa y ácidos grasos) y en general activación de muchos de los sistemas y aparatos del organismo (cardiovascular, respiratorio, etc., con el aparato locomotor y músculo estriado como centro de operaciones).

Cuarto. Las emociones mantienen la curiosidad y con ello el interés por el descubrimiento de lo nuevo (nuevos alimentos, ocultación de enemigos, etc.). De esta manera, ensanchan el marco de seguridad para la supervivencia del individuo.

Quinto. Las emociones sirven como lenguaje para comunicarse unos individuos con otros (de la misma especie o incluso de especies diferentes). Es una comunicación rápida y efectiva. En el hombre el lenguaje emocional es también un lenguaje básico tanto entre los miembros de una misma familia (padres e hijos) como entre los miembros de una sociedad determinada. Ello, además, crea los lazos emocionales (familia, amistad) que pueden tener claras consecuencias de éxito tanto de supervivencia biológica como social.

Sexto. Las emociones sirven para almacenar y evocar memorias de una manera más efectiva (Rolls, 1999). A nadie se le escapa que todo acontecimiento asociado a un episodio emocional, tanto si éste tuvo un matiz placentero o de castigo (debido a su duración tanto como a su significado), permite un mayor y mejor almacenamiento y evocación de lo sucedido. Ello, de nuevo, tiene claras consecuencias para el éxito biológico y social del individuo.

Séptimo. Las emociones y los sentimientos «pueden desempeñar un papel importante en el proceso del razonamiento y en la toma de decisiones, especialmente aquellas relacionadas con la persona y su entorno social más inmediato» (Damasio, 1994). Este séptimo punto nos invita a pensar que en el hombre, las emociones siguen siendo uno de los constituyentes o pilares básicos sobre los que descansan casi todas las demás funciones del cerebro. Más que eso, la forma suprema del funcionamiento cerebral, el razonamiento mismo, resulta, como señala Damasio, de la actividad concertada entre la corteza cerebral y la parte más antigua del cerebro: la que genera las emociones (Damasio, 1999).

Rastreando los caminos cerebrales de la emoción

De todo lo que antecede y en un sentido amplio, una cosa parece clara: las emociones reducidas a su más simple y elemental pronunciamiento refieren, ya desde su origen, a los mecanismos que utiliza el individuo para sobrevivir y comunicarse. De modo que si

las emociones y el lenguaje emocional están enraizados en lo más profundo y primitivo del cerebro humano, ¿de dónde nos vienen? ¿hasta dónde se puede trazar su origen evolutivo en el cerebro?, ¿qué áreas del cerebro y qué mecanismos neuronales las generan?

Alcanzar a entender el origen de las emociones y su significado en el hombre requeriría de modo importante entender primero la evolución y construcción del cerebro humano a lo largo de sus muchos años, millones de años, de pruebas de azar y reajustes. No es este el lugar en donde podemos aproximarnos a su estudio (véase Introducción y capítulo 1 de este libro) (Gisolfi y Mora, 2000).

En la actualidad, los «procesos emocionales» se estudian y pueden ser enfocados desde muchas y diversas perspectivas y disciplinas. Desde la Neurociencia ha cobrado gran relevancia el análisis de estos procesos desmenuzados en sus diversos componentes y su secuencia en el tiempo. Es decir, el estudio del fenómeno emocional desde que la información del mundo externo entra al cerebro por los órganos de los sentidos (léase retina para la visión u órgano de Corti para la audición) hasta que se ejecuta la salida de información (conducta) tras su procesamiento en las distintas áreas del cerebro emocional o «sistema límbico». Componentes importantes de este procesamiento son entre otros la percepción, la atención, el aprendizaje y la memoria.

Del ojo al análisis de la corteza cerebral

Veamos desde el principio y como ejemplo, el procesamiento sensorial y emocional que nace de un estímulo externo, sea por ejemplo la visión de una naranja cuando estamos hambrientos, ¿cómo construye el cerebro la sensación y percepción de la naranja y su significado de alimento? Hoy sabemos que la naranja es analizada y descompuesta por el cerebro en sus muchos componentes, como son la forma, la orientación, el color, el movimiento, la profundidad, su relación con otros objetos del espacio, etc., de forma individualizada y que esta información es transportada por vías diferentes y paralelas al cerebro. Hoy sabemos, además, que esta varia información es distribuida en diferentes áreas del cerebro y circuitos, en donde sufre un posterior análisis y finalmente es almacenada.

Tomemos ahora una sola de las características que forman parte del percepto naranja. Por ejemplo, la forma (redondez) que tiene la naranja, ¿cómo analiza el cerebro las formas? Hoy sabemos que las neuronas de la retina descomponen o analizan las formas de los objetos vistos por la capacidad que éstas tienen de captar los contrastes de luz-sombra que la luz provoca al incidir sobre dichos objetos. Tales contrastes se realizan en campos receptivos anulares con un centro de luz y una periferia de sombra. Los objetos quedan así descompuestos en miles de puntos redondeados. Tal análisis inicial pasa posteriormente por una síntesis progresiva a cargo de las neuronas situadas en las vías visuales que corren desde la retina al tálamo y de éste a la corteza visual.

En la corteza visual primaria o estriada (V1), en las áreas de asociación visuales y en la corteza inferotemporal (V2, V3, V4, etc.) existen neuronas que responden no ya a puntos de luz-sombra, sino a líneas o barritas de luz-sombra. Hubel y Wiesel han interpretado que neuronas del tálamo convergen sobre neuronas de la corteza visual y estas últimas recomponen en líneas la visión puntual recibida por las primeras. A estas neuronas se les ha dado en llamar neuronas simples. De esta manera, y bajo la hipótesis de un proceso de convergencia e integración constante, las neuronas pasarían de «entender» puntos de luz a «entender» barritas o líneas de luz orientadas en todas las direcciones posibles del espacio y también líneas o barritas que se quiebran en ángulo recto. Posiblemente, de estas últimas se pasaría a neuronas más complejas capaces ya de «entender» configuraciones hechas por combinaciones de líneas. Y todo este proceso (teórico e hipotético al fin y al cabo), ¿acaso no está lleno de un sentido que es casi común?, porque después de todo ¿qué es el mundo visual de las formas sino la composición casi infinita de un conjunto de líneas orientadas en casi todas las direcciones posibles del espacio? Es de este modo, pues, que se ha supuesto el proceso de reconstrucción cerebral de las formas y otras características complejas del mundo visual.

En definitiva, todas estas investigaciones han llevado, en un ensamblaje de datos experimentales y construcciones teóricas a la idea de que el proceso de reconstrucción del mundo visual se realiza de forma paralela (para el análisis de cada una de sus características), al tiempo que de forma jerárquica y convergente en las diferentes áreas que procesan y almacenan cada una de esas características y que componen el percepto naranja. Hoy, además, sabemos que el procesamiento en cada una de esas áreas finales no es un proceso pasivo, tal cual se suponía, sino que el cerebro sigue un proceso activo, al descartar toda aquella barahúnda de información que es irrelevante en el proceso de captación, por ejemplo, del color y de las mismas formas de los objetos. Como señala Zeki:

> los nuevos conceptos (acerca del proceso del objeto visto) incluyen funciones y comunicación neuronal en paralelo, segregación funcional, especialización funcional, ideas acerca de que la imagen del mundo visual en el cerebro es, no un proceso pasivo, sino un proceso de construcción activo, y desde luego que no haya una línea divisoria entre ver y comprender o ser consciente de lo que se ve.

De cómo un objeto visto se torna bueno o malo

Lo extraordinario de todo esto es que cuando evocamos en imágenes mentales o vemos físicamente la naranja, nosotros siempre vemos una naranja y nunca los componentes individualizados que están almacenados en distintas partes del cerebro (a menos que conscientemente queramos evocarlos de forma individualizada). Ello nos conduce a que la visión de la naranja debe conllevar un mecanismo que active todas las áreas cerebrales

correspondientes al mismo tiempo y ponga juntas todas sus características individuales, en este caso de la naranja, evocándolo así y de modo final como objeto único. La forma en que el cerebro puede hacer todo esto recibe el nombre anglosajón de *binding problem* o «problema de la unión o ligazón». En estudios recientes se ha sugerido que los mecanismos de unir o poner juntas todas las propiedades de un objeto son producidos por la actividad o disparo sincrónico de todas las neuronas que intervienen en el análisis de cada propiedad de la naranja (Singer, 1996, 1998) (véase también el capítulo 6 a propósito de la conciencia).

Pues bien, hasta este último nivel de conjunción o unión y elaboración como objeto único, la visión de la naranja es procesada de una forma «aséptica», es decir sin ninguna connotación o significado de bueno o malo, placentero o aversivo. Mountcastle señalaba:

> En el nivel de la sensación, las imágenes de usted y las mías son virtualmente las mismas, siendo fácilmente identificables mediante descripción verbal o reacción común.

A partir de aquí la información entra en el sistema límbico o emocional. Y es en él donde esta información sensorial, fría y objetiva (el percepto naranja) se colorea afectivamente. La naranja, un perro, una casa, una flor, adquieren un significado más allá de la forma, el color, el movimiento y el sonido. A este nuevo nivel (los circuitos que codifican la emoción), el perro ya no sólo es perro. El perro es bueno o es malo y su visión (fría y objetiva) causa acercamiento o alejamiento en función al color afectivo que proporciona nuestra experiencia emocional previa. De igual forma ocurre en esa convergencia de significados, como la visión del alimento y la aceptación o rechazo del mismo en función al estado de hambre o saciedad del individuo. Precisamente, el sistema emocional codifica en sus circuitos los «estados» de hambre y saciedad en función a la información, entre otras, procedentes de los nutrientes circulantes en el organismo y es así como la reacción emocional a la naranja se «enciende» (hambre) o se «apaga» (saciedad) en función a ese estado.

A nadie se le escapa como experiencia propia, que un alimento es atractivo o indiferente según estemos o no hambrientos. Precisamente, las bases neuronales de este fenómeno fueron bien establecidas al demostrarse que las neuronas localizadas a lo largo de las vías y áreas visuales no responden a ningún componente hedónico (de bueno o de malo, de placer o de castigo) asociado al estímulo (en nuestro caso la naranja) (Rolls, 1999). Es sólo en áreas posteriores a este procesamiento estrictamente sensorial, en el sistema límbico, en donde las neuronas responden a estímulos asociados a refuerzos (positivos o negativos) o a componentes emocionales. Todo esto nos lleva a la conclusión de que el cerebro, inicialmente, procesa la información sensorial de una manera desprovista de todo componente emocional, y sólo cuando el estímulo alcanza ciertas áreas, los llamados «circuitos límbicos», es cuando adquiere la tonalidad afectiva.

El conocimiento de esta secuencia de eventos en el cerebro (desde la entrada de información sensorial hasta la elaboración de la reacción emocional) ha permitido elaborar teorías y modelos computacionales que han ayudado a entender, sobre bases neuronales, estos procesos tan importantes para el ser humano. Precisamente utilizando un estímulo condicionado de «miedo» en el animal (un sonido que previamente se ha asociado con un choque eléctrico suave a las patas (estímulo aversivo), Harmony y Le Doux (2000) han elaborado un modelo de cómo la información pasa a ser procesada en el cerebro desde (1) su entrada sensorial (sonido condicionado) a (2) las áreas de la corteza cerebral que analizan el sonido hasta (3) su entrada en el sistema límbico (amígdala y sus diferentes núcleos) y (4) su salida o respuesta del sistema como son secreción de hormonas, activación del sistema simpático, activación del sistema muscular esquelético (reflejos), etc. (Harmony y Le Doux, 2000). Esto ha ayudado a entender en parte no sólo los mecanismos que operan en el cerebro ante una situación de peligro (miedo), sino sus consecuencias patológicas, como pueden ser la ansiedad, las fobias, los ataques de pánico, etc.

El sistema límbico tiene múltiples áreas, núcleos y circuitos. De todas ellas, dos destacan por su importancia estratégica (anatómica y funcional) y por la gran cantidad de estudios experimentales que a ellas le han dedicado. Éstas son la amígdala y la corteza prefrontal. Junto a ellas también destacan la corteza cingulada y el hipotálamo (Delgado y Mora, 1999; Fernández de Molina, 1998; Harmony y Le Doux, 2000).

La amígdala es una estructura cerebral que se encuentra implicada en el procesamiento emocional que evalúa el significado biológico («color emocional») de toda la información sensorial entrante en el cerebro. Es un área en donde se realizan las asociaciones entre los llamados refuerzos primarios y secundarios; es decir, aquellos (los primarios) que por naturaleza tienen propiedades de refuerzo, como por ejemplo la naranja si se está hambriento y aquellos otros (secundarios) que por sí mismos no son reforzantes (una luz o un sonido), pero que si se asocian con el refuerzo primario (alimento) adquieren ellos mismos (asociación por aprendizaje) propiedades de refuerzo y su correspondiente significado.

Consecuentemente, las lesiones de la amígdala impiden que los animales puedan asociar estímulos visuales o de otro tipo con refuerzos primarios (sean éstos de recompensa o de castigo) y con ello tener respuestas emocionales normales. Así, por ejemplo, las lesiones en esta estructura impiden a los primates tener una respuesta emocional ante estímulos que normalmente producen respuestas de placer (alimento) o agresivas (visión de una serpiente) y se vuelven, por tanto, animales mansos. Por otra parte, se ha podido comprobar que muchas neuronas de la amígdala del primate, que reciben aferencias visuales, responden a la visión de rostros o caras, sean éstas de personas o de otros primates. Pero lo más interesante es la demostración en humanos de

que lesiones de la amígdala producen un impedimento, no en reconocer a quién pertenecen las caras (un hombre o una mujer), sino al mensaje emocional de las mismas. Un paciente con lesión de ambas amígdalas puede reconocer a qué amigo o familiar pertenece la cara que se le presenta en una fotografía, pero es incapaz de detectar si tal cara contiene una expresión de alegría o miedo (Adolphs *et al.*, 1994). Estos pacientes tampoco son capaces de reconocer la entonación emocional cuando se les habla (Scott *et al.*, 1997).

En apoyo a estos hallazgos experimentales están los estudios recientes en humanos utilizando tomografía por emisión de positrones (PET) e imagen por resonancia magnética (MRI), mostrando que el flujo sanguíneo en la amígdala, una clara señal de activación, aumenta cuando los sujetos miran fotos, dibujos o pinturas con un contenido fuertemente desagradable (Morris *et al.*, 1996; Breiter *et al.*, 1996; Irwin *et al.*, 1996) o cuando se les pide que evoquen recuerdos conscientes de sucesos con un fuerte componente emocional (George *et al.*, 1995) o evocados durante el sueño REM (Braun, 1998). Todo ello sugiere finalmente que la amígdala es un área importante en la evaluación emocional de la información sensorial.

Por su parte, la corteza prefrontal y, en especial, la corteza órbito-frontal, contiene circuitos neuronales en donde igualmente se realizan asociaciones del tipo estímulo-refuerzo. En particular, una de las funciones de esta área del cerebro ha sido relacionada con la desconexión de asociaciones estímulo-refuerzo realizadas con anterioridad. Es decir, desconectar situaciones, objetos o personas previamente unidos a connotaciones emocionales. Ello provee a esta área del cerebro de la capacidad plástica de adaptarse a los cambios permanentes que se suceden en el mundo emocional del individuo. Lesiones de esta área del cerebro producen consecuentemente cambios en la conducta emocional como, por ejemplo, persistencia en la relación y lazos sentimentales que ya se han roto en la realidad, falta de afecto por los demás o poca reacción emocional y completa despreocupación de cuanto acontece alrededor del individuo o la planificación de futuro.

El famoso caso de Phineas Gage es muy ilustrativo en este sentido. Un individuo que como resultado de un aparatoso accidente sufrió daños en sus lóbulos frontales. Gage, persona considerada y querida por sus compañeros de trabajo, tras el accidente se tornó grosero, emocionalmente desinhibido y desajustado en sus relaciones sociales, irrespetuoso e irresponsable y tan pronto diseñaba un plan de futuro como lo abandonaba para comenzar otro (Damasio, 1999). Se ha sugerido, además, que esta área del cerebro y sus circuitos son el depósito de las situaciones vividas junto a experiencias emocionales únicas del individuo a lo largo de toda su vida. La lesión de esta área justifica claramente el tremendo impacto que posee en la vida de una persona (Rolls, 1999).

Es experiencia común (ya lo hemos señalado a propósito de la amígdala) que las emociones, como las percepciones, pueden ser evocadas desde dentro del cerebro, bien por un recuerdo o un sueño (sueño paradójico o sueño de movimiento rápido de los ojos, REM). Una estructura del sistema límbico, la corteza cingular, que al igual que la

amígdala y la corteza prefrontal (de las que recibe e integra información) forma parte de los circuitos límbicos emocionales, parece principalmente relacionada con la generación de este tipo de emociones; es decir, aquellas evocadas internamente (sueño o recuerdo), sin entrada directa de información sensorial externa que las provoque. Es posible que la corteza cingulada sea un área de interfase entre entradas de información emocional (procesadas por otras áreas límbicas, como la amígdala y la corteza prefrontal) y salidas de acción motora, es decir, de ejecución de una conducta determinada.

Finalmente, el hipotálamo es el área cerebral que junto con otras áreas del sistema límbico procesa y efectúa la salida de información hacia el sistema neuroendocrino y neurovegetativo. Es decir, el hipotálamo activa todas las respuestas corporales generales que hemos descrito con anterioridad ante una reacción emocional, como son la liberación de hormonas y la activación de todos los aparatos y sistemas del organismo conducentes a preparar a éste y responder ante una situación de alarma o peligro. También esta estructura participa en la salida de información hacia estructuras motoras como los ganglios basales o áreas del tronco del encéfalo, y así contribuir a la respuesta conductual inconsciente que realiza el organismo vivo ante una reacción emocional (Rolls, 1999).

El fuego emocional

Las respuestas emocionales del ser humano son muy variables y dependen de muchas circunstancias, tanto del estado interior del individuo (educación, aprendizaje y memoria, situación social, estado actual) como de la intensidad y cualidad del estímulo. Precisamente, un reto de la neurociencia actual es adentrarse en el conocimiento de todos estos determinantes. Los circuitos neuronales prefrontales y amigdalinos, formados y reestructurados a lo largo de toda la vida de un ser humano y depositarios de toda su experiencia emocional, son especialmente relevantes. Conocer sus códigos de formación y funcionamiento, particularmente durante el periodo del desarrollo, significaría desentrañar los mecanismos que gobiernan ese complejo mundo emocional. Pero a la vez, también servirían para entender ese entramado que ha mantenido la supervivencia de los seres vivos a lo largo de cientos de millones de años de evolución.

Las emociones y los sentimientos son el origen, el encendido central de la conducta humana. Son la energía que permite el ensamblaje coherente de todos los ingredientes de una planificación futura, sea ésta realizar un viaje o escribir un libro. Sin el fuego emocional previo los planes, incluso los del *día a día* quedan desintegrados, mal coordinados y sin mantenimiento ni realización. Las emociones son ese motor, tanto para nuestra inmediata reacción ante el peligro o el placer como para generar nuestras frustraciones y reacciones agresivas. Es por ello que los sentimientos y las emociones son la cara y la cruz, la luz y la sombra de lo que el hombre es. Son el cielo y el infierno de nuestra conducta con los demás seres humanos. Pero son además, paradójicamente, el elemento que ha «elevado» al hombre «más allá» de su condición y raíz biológica al

crear los sentimientos. Los sentimientos han llevado al hombre a «soñar» y a liberarse temporalmente de su finitud inexorable. Con ellos, con los sentimientos, el hombre ha encontrado la energía para elevarse hacia el infinito. Ése es el sentimiento de Dios.

La conciencia emocional de lo divino

Muy poca gente dudaría que un elemento o ingrediente crucial de la experiencia religiosa es su componente emocional. Toda experiencia religiosa se coaliga con sentimientos, sean éstos de alegría, de amor o incluso de miedo y temor. Tanto en la soledad como en los ritos en donde se comparte la experiencia con otros, el ingrediente básico es emocional. ¿Qué son si no el íntimo recogimiento, la experiencia inefable, los cantos, la música de los ritos, las palabras cargadas de emoción y bienestar que embargan a los individuos durante la experiencia religiosa?

Como señalan Saver y Rabin (1997), lo que parece peculiarmente distintivo de la experiencia religiosa es «la conciencia sensorial de Dios o de lo divino, ésta es la quintaesencia definitiva y específica de la experiencia religiosa». En tanto que no hay, hasta donde sabemos, ningún órgano especial ni separado para la percepción religiosa, está claro que tal percepción debe de estar mediada por los sentidos normales, como son la visión, la audición, el tacto o el olfato y, desde luego, la «impregnación» emocional de estas percepciones. Esto último lo describió magistralmente Willian James en 1902:

> la percepción de lo divino ocurre no a través del trabajo de facultades sensoriales especiales y diferentes a las normales, sino a través de la superimposición a las sensaciones que todos tenemos de un sentimiento numinoso y místico.

Es interesante que precisamente el sistema límbico y sus estructuras (en particular, la amígdala y el hipocampo) poseen un umbral muy bajo, quizá el más bajo de cualquier otra estructura del cerebro, para producir posdescargas eléctricas. Una posdescarga eléctrica es una sincronización en el disparo de potenciales de acción de muchas neuronas durante un determinado periodo de tiempo, normalmente de varios segundos a un minuto. Estudios experimentales en diversas especies animales, lo que incluye primates, han demostrado que tales posdescargas se pueden inducir fácilmente por un débil estímulo eléctrico producido por un electrodo implantado en dicha estructura (J. M. R. Delgado, 1973). Este disparo sincrónico de un grupo de neuronas puede extenderse y sincronizar a neuronas de otras estructuras del sistema límbico, expresando un tipo de descarga (propiamente es una descarga epiléptica) que recibe el nombre de posdescargas eléctricas o ataque estático. Este fenómeno sucede en pacientes humanos.

Efectivamente, hay estudios en humanos que sugieren que el hipocampo y en especial la amígdala son posiblemente las estructuras neurales críticas que generan esta actividad de posdescarga eléctrica sin un componente motor y que, por tanto, pueden pasar

conductualmente desapercibidas. Las descripciones posteriores a estos ataques en pacientes son las de haber experimentado una profunda sensación, placentera a veces, y con un contenido mental de percepciones muy variables. Algunos pacientes, por ejemplo, describen un sentimiento hermoso y profundo que les embarga y que no pueden explicar o lo hacen con enorme dificultad. Otras veces los contenidos de esta experiencia emocional primaria están relacionados con un sentimiento de armonía de todo lo que rodea al individuo, impregnado de cierta inefabilidad de la realidad.

Otras descripciones incluyen el sentimiento de extrañeza acerca de uno mismo o del mundo que le rodea, una sensación de «no estar en este mundo», «pérdida de la realidad del mundo» o «no pertenecer a este mundo». Muchos estudios con pacientes despiertos en los que se ha realizado un débil estímulo eléctrico a través de un electrodo implantado en estas estructuras límbicas o estructuras adyacentes, como es el giro temporal, han puesto claramente de manifiesto este mismo tipo de sensaciones en personas por otra parte normales.

Estas últimas sensaciones, también llamadas «auras intelectuales», se parecen mucho a las descripciones realizadas por individuos normales que han tenido intensas experiencias religiosas. Personas, por ejemplo, que han experimentado un profundo sentimiento religioso o conversión religiosa han descrito un vacío y un sentimiento de pérdida de la realidad de sí mismos o despersonalización, junto con profundos sentimientos «luminosos». Muchas de estas descripciones incluyen las de sentirse realizado, la alegría interna de haber alcanzado una nueva realidad no descriptible, o describir la visión de una luz muy brillante a la que se le atribuye el origen de todo lo que le embarga y sucede y todo ello relacionado con la deidad. Estas experiencias también incluyen el fenómeno de la autoscopia; es decir, la experiencia que consiste en verse uno mismo fuera del propio cuerpo, bien como una copia del mismo situada a su lado, o en verlo desde fuera y en otra perspectiva. Estas sensaciones han sido descritas previas a un ataque epiléptico, pero también lo han sido por personas normales sanas en situaciones de intensa ansiedad y estrés.

Todos estos estudios realizados en personas normales ante situaciones extremas de ansiedad o por estímulo eléctrico de su cerebro en un acto quirúrgico o en auras epilépticas revelan, sin duda, que el cerebro posee el substrato último de toda experiencia, inefable o no, lo que incluye la propia experiencia religiosa. Y revela, además, que muchos de los componentes de las experiencias religiosas tienen su asiento último en el sistema límbico, por mucho que la literatura médica a este respecto esté repleta de contradicciones por lo complejo del fenómeno.

En cualquier caso y a la luz de lo dicho, ¿cómo no poner en el contexto y análisis de la Neurología y las Neurociencias muchas de las descripciones hechas por profetas o grandes figuras de todas las religiones del mundo en cuanto a lo «sobrenatural» de las mismas? Así, por ejemplo, figuras como san Pablo (se describe que su conversión al cristianismo en su camino hacia Damasco se acompañó de la súbita visión de una luz

brillante, caída del caballo, escuchó la voz de Cristo, y que tras esta crisis estuvo durante tres días ciego y con incapacidad para comer y beber. Asimismo tuvo durante este tiempo visiones de éxtasis. Si fue epiléptico se desconoce. Varios estudios y análisis médicos de estas descripciones se atribuyen a un episodio epiléptico); Mahoma (varios episodios de palidez, caídas, sudoración profusa y alucinaciones visuales y auditivas. Se atribuyen a crisis epilépticas); Juana de Arco (descripción de ella misma: «He oído esta voz de un ángel... acompañada también por una... gran luz... no pasa un solo día que no escuche esta voz; y me encuentro con gran necesidad de oírla...», se sabe que este tipo de crisis y sensaciones las tuvo todos los días, al menos alrededor del tiempo en que fue ejecutada, en 1431, y los análisis médicos las atribuyen a crisis de posdescargas estáticas o de gran ansiedad); santa Teresa de Ávila (visiones, cefaleas crónicas, pérdidas transitorias de conciencia, mordeduras de la lengua. Se atribuyen claramente a crisis epilépticas) (Saber y Rabin, 1997). Con ello quiero señalar, esto es obvio, no que toda visión o inspiración religiosa o estética se encuentre en un proceso patológico del cerebro, pero sí que se encuentre en los códigos de funcionamiento del cerebro evocados por una u otra condición.

Como señalaba yo antes, el cielo y el infierno están en nuestro cerebro y en ninguna otra parte. Y que los mismos mecanismos que planificaron nuestra supervivencia y la siguen manteniendo son los mismos que al alcanzar la conciencia han llevado al ser humano a sentirse más allá de los justos determinantes que imprime la propia naturaleza. ¿Podremos con nuestra ciencia llegar algún día a desentrañar —como señalaba Wilson— la rigidez de estas fuerzas, y medir y decodificar su verdadero significado?, ¿podríamos con ello encontrar el camino o la vía que cantaba el poema hindú y que abre este capítulo, en donde más allá del castigo y la recompensa se halla la sabiduría?

La superación de nuestra condición de humanos, concebida esta última como lejos de la agresión y la violencia, la ambición y la maldad, está en la superación de todo lo emocional negativo con la sabiduría y la ponderación. Si los circuitos de la corteza prefrontal y los de la amígdala procesaran la información sensorial lejos de los códigos cervales adquiridos a lo largo del proceso evolutivo, nuestro mundo de humanos tendría visos de caminar hacia un mundo, en donde ese sufrimiento y la frustración que ha sido el motor de las batallas de los hombres contra los hombres se tornase en sentimiento de reconocimiento mutuo de vida y esperanza.

CAPÍTULO 5

LA MENTE ES EL TEJIDO CEREBRAL COSIDO CON HILOS DE TIEMPO

> En última instancia, los problemas que preocuparán a los neurobiólogos serán los mismos que han preocupado a los filósofos a través de los siglos —conocimiento, experiencia, conciencia y mente—, todos ellos consecuencia del funcionamiento cerebral y a la postre sólo entendibles cuando el cerebro sea propiamente comprendido... Es sólo a través de un conocimiento de las Neurociencias que los filósofos del futuro pueden tener la esperanza de hacer una contribución significativa a la comprensión de la mente.
>
> SEMIR ZEKI. *A vision of the brain.*

Cuando pensamos acerca del cerebro tenemos muy claro que se trata de un órgano hecho de células nerviosas (las neuronas), sinapsis (conexiones entre neuronas), mensajeros químicos comunicando información entre neuronas (neurotransmisores), receptores, múltiples conexiones interneuronales y circuitos. Asimismo, cuando hablamos acerca del cerebro lo hacemos usando un lenguaje preciso y especializado que es fundamentalmente el de las ciencias básicas: matemáticas, química y física, moléculas, proteínas, potenciales eléctricos... Es decir, todo aquello que puede ser manipulado, cortado, separado en piezas y analizado.

Pero ¿qué ocurre cuando pensamos acerca de lo que es la mente? Percepciones, emociones, pensamientos, memoria, conciencia y autoconciencia? Parece como si habláramos de algo que a causa de ser íntimo y subjetivo fuera elusivo o difícil de concretar y medir. En este sentido, usamos un lenguaje diferente para hablar de estos conceptos: el lenguaje de la Psicología.

Durante cientos de años hemos tenido una separación clara entre estos dos mundos. Por un lado, el del cerebro material, ocupando espacio y tiempo y, por tanto, siendo un fenómeno universal y asequible al método científico. Por otro, el mundo mental o del espíritu ocupando solamente tiempo y restringido a la intimidad del individuo y en consecuencia único.

El problema

Charles Sherrington, premio Nobel de Fisiología y Medicina del año 1932 y, junto a Cajal, uno de los más reconocidos padres de las Neurociencias actuales, escribió en una ocasión ya cumplidos los 90 años:

> El estudio de los procesos cerebrales incide más y más sobre el estudio de la

> mente, pero todavía hay procesos mentales que parecen estar más allá de cualquier fisiología del cerebro. Cuando vuelvo mi mirada hacia el cielo y veo la cúpula del cielo, el disco brillante del sol y otros cientos de cosas visibles por debajo de él, me pregunto ¿cuáles son los pasos que dan lugar a esto? Un minúsculo rayo de sol entra en el ojo y estimula la retina. Ello da lugar a un cambio, que a su vez viaja hacia la parte más alta del cerebro. Toda la cadena de estos sucesos, desde el sol hasta esa parte más alta de mi cerebro es física. Cada paso es una reacción eléctrica. Pero de pronto acontece un cambio completamente diferente a cualquier otro, que lo supera y que es completamente inexplicable para nosotros. Una escena visual se presenta ante la mente. Yo puedo ver la cúpula del cielo y el sol en ella y a cientos de otras cosas visibles a su alrededor. De hecho, percibo una escena del mundo delante de mí... Es demasiado salto para que desde una reacción eléctrica en el cerebro se pase de pronto a ver el mundo a mi alrededor con todas sus distancias, sus colores y sus claroscuros... Aristóteles, hace 2.000 años, se preguntaba cómo la mente estaba unida al cuerpo... Todavía seguimos preguntándonos lo mismo.

Sherrington escribió estas reflexiones hace unos 50 años. Un lapso de tiempo enorme en donde las ciencias del cerebro han experimentado un avance realmente espectacular. A pesar de ello, el problema de la relación cerebro-mente expuesto por Sherrington de forma literaria sigue vigente: ¿cómo se pasa de la Física y la Química de mi cerebro (procesos cerebrales) a la conciencia del mundo que me rodea con sus formas, sus colores y sus movimientos (procesos mentales)? Más todavía, ¿cómo es que al cerrar los ojos se pasa a poder recrear en mi mente de modo consciente y sin presencia física directa los aconteceres de ese mundo externo? ¿Cómo puedo yo ver en mi mente la cúpula del cielo y el sol en ella sin el cielo y el sol delante de mí? Todavía hoy algunos filósofos se siguen haciendo la misma pregunta. En definitiva, ¿soy yo uno material? o ¿soy yo dos, mi cuerpo y mi cerebro, por un lado, y mi mente de otra naturaleza, por otro?

Un paréntesis

A finales de la década de 1940 y en una emisión radiofónica, Gilbert Ryle, el famoso filósofo de Oxford, quiso exponer de forma transparente y para el gran público la posición dualista en este problema que acabamos de comentar (la dicotomía cerebro-mente como dos naturalezas distintas materia-espíritu). Y narró el siguiente cuento:

> ... Se cuenta la historia de unos pastores que quedaron aterrorizados al ver, por primera vez, un tren con máquina de vapor. A raíz de ello su párroco les dio una charla para tratar de explicarles cómo funciona una máquina de vapor. Uno de los campesinos entonces dijo: «Sí, padre, entendemos bastante bien lo que usted

> dice. Pero, a la postre, ¿no es cierto que es un caballo lo que de verdad hay dentro de la máquina?». Ciertamente reconocemos que no podemos ver, sentir u oír un caballo dentro. Pero sabemos que ahí debe haber un caballo, lugo éste debe ser un caballo fantasma. Tan acostumbrados estaban los campesinos a ver los carros tirados por caballos que no pudieron asimilar la idea de que algunos vehículos pudieran autopropulsarse. ¡Pobres inocentes pastores! Sin embargo, esta historia ha sido la teoría oficial de la mente en los últimos 300 años.

Tenemos el fantasma dentro de la máquina y, por tanto, algo misterioso. ¿Es esto así? ¿Hay de verdad un algo «misterioso», «no material», «espiritual», entre el cerebro y la mente? O si se quiere ¿hay un elemento de naturaleza no-material que actúa sobre el elemento material, el cerebro, que es el que finalmente produce los procesos mentales?

Digámoslo ya desde el principio. No hay misterio en la máquina. Como la máquina de vapor hace el movimiento, el instrumento creador de los procesos mentales es el propio cerebro. El pensamiento filosófico actual, así como los posicionamientos científicos desde el lado de las neurociencias, han trasladado la cuestión desde el misterio al problema. Hoy hay un problema que resolver y éste puede ser atacado científicamente y eventualmente entendido

Esto último, sin embargo, no es en ningún caso todavía una conclusión científica definitiva, aun cuando haya cada vez más datos que nos permiten creer que los procesos psicológicos son, de hecho, procesos del cerebro y no procesos producidos por una mente o espíritu no físico. Señalan Churchland y Sejnowski:

> El Dualismo Cartesiano ya no se toma muy seriamente ni en Filosofía ni en Neurociencias. Sea suficiente decir que la hipótesis cartesiana fracasa en dar coherencia a los conocimientos actuales de la física, química, biología evolutiva, biología molecular, embriología, inmunología y neurociencias. Por supuesto que el materialismo no es un hecho establecido en el sentido en que por ejemplo sí lo es la estructura helicoidal del ADN. En este sentido todavía es posible que aun cuando las evidencias actuales no lo apoyen, el dualismo pudiera ser verdad. Aun así y a pesar de la remota posibilidad de que nuevos descubrimientos reivindiquen a Descartes, el materialismo, como lo es la Revolución darwiniana, es la hipótesis de trabajo más segura.

El cerebro produce la mente: los inicios

Para algunos filósofos de la ciencia y neurobiólogos, la mente o los procesos mentales «emergen» del cerebro. Es decir, son producidos por la maquinaria cerebral (única materia existente), pero sostienen que una vez producidos no son reductibles a ella y sus mecanismos. Éstos, los procesos mentales, son como propiedades «no físicas», pero que influyen en el funcionamiento del propio cerebro. Un ejemplo de este posicionamiento es

el de Roger Sperry, un gran neurobiólogo del siglo XX, fallecido recientemente, premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1983 por sus trabajos sobre el cerebro escindido. Sperry sostenía que aun cuando la mente es, sin duda, consecuencia y resultado de los procesos cerebrales, aquélla, la mente, es un proceso emergente e irreductible para su explicación, a éstos. Señala Sperry:

> La idea que yo sostengo es que los fenómenos conscientes (procesos psíquicos) son propiedades funcionales emergentes de los procesos cerebrales, y ejercen un papel de control activo como determinantes causales en dar forma al flujo de patrones de excitación cerebral. Una vez generados por los procesos neurales, los patrones y programas mentales de alto orden tienen sus propias cualidades subjetivas y progresan, operan e interactúan por sus propias leyes causales y principios, los cuales son diferentes «de» y no pueden ser reducidos «a» aquellos de la Neurofisiología. Las fuerzas mentales no violan, disrumpen o intervienen en la actividad, pero sí la supervisan. La interacción es mutuamente recíproca entre los niveles neural y mental en las correspondientes jerarquías cerebrales.

Son, pues, las ideas de Sperry las de un dualismo interaccionista muy en línea con las ideas de John Eccles, en las que la mente, espiritual, controla e interactúa con la maquinaria cerebral, neuronal. Sperry, sin embargo, se manifestó siempre en contra de esta afirmación que acabo de hacer y siempre sostuvo que su idea era muy diferente de aquellas otras en las que hay «una intervención fantasmagórica y extrafísica a nivel de las sinapsis que es lo que propone Eccles».

Ciertamente hay una diferencia fundamental entre las ideas de ambos neurobiólogos. Mientras que Eccles sostiene que la mente está hecha de una sustancia espiritual (dualismo cartesiano o sustancial), Sperry sostiene que la mente es un producto del cerebro aun cuando emergente e irreductible a éste (dualismo inherente, funcionalista o emergente). Es por esto último por lo que Sperry sostiene que sus ideas son las de una interacción psicofísica (entre mente y cerebro), fundamentalmente monista a la que llama «mentalismo» y en la que considera que los fenómenos mentales subjetivos son realidades primarias y potentes tal cual son experimentadas por el sujeto.

La mente es el cerebro

Frente a John Eccles y Roger Sperry muchos neurobiólogos prestigiosos sostienen hoy, de una u otra forma expresa o sin formulaciones explícitas, que la vida psíquica en general, esto es, los procesos mentales, son de hecho procesos cerebrales. Tal es el caso de Vernon Mountcastle, otro ilustre representante de las Neurociencias actuales, quien sostiene que todas sus ideas sobre las que ha basado el diseño de sus experimentos han sido siempre hechas a la luz de la Teoría de la Evolución. Mountcastle concibe el cerebro como un órgano (o máquina como él lo llama) en el que prima fundamentalmente el

procesamiento dinámico de la información proveniente del mundo. Y considera que todos esos procesos que llamamos funciones superiores, como pensar, calcular, hacer planes e incluso la misma conciencia, son iniciados y realizados por la corteza cerebral. Es así que Mountcastle señala:

> Estos aspectos los considero como dependientes de la acción ensamblada de grandes poblaciones de neuronas en la parte más anterior del cerebro organizadas en complejos sistemas interactuando entre sí. No creo que existan influencias externas al sistema que sean incompatibles con las leyes conocidas de la Termodinámica. El principio básico que yo concibo es exactamente consonante con la Teoría de la Identidad Psiconeural y exactamente opuesto al Dualismo Cartesiano, expuesto éste en su forma original o en sus más recientes formulaciones.

Está claro que para Mountcastle los procesos mentales SON procesos cerebrales en pie de identidad. De ello cabe deducir, como corolario, que los procesos mentales podrían eventualmente ser reducidos a los procesos físicos medibles, esto es, a los cambios celulares y moleculares que conforman los circuitos del cerebro, pero ¿cómo se hace ello posible?

¿Qué dice la Neurociencia actual acerca de la mente? Una primera aproximación

La Neurociencia ha proporcionado un nuevo modo de entender el cerebro en su intento de unificar estos dos mundos (mente y cerebro). El cerebro ha dejado de ser concebido en los burdos términos de materia estática. Hoy sabemos que el cerebro es un órgano en cambio permanente, tanto en su estructura como en su función. Así, el cerebro tiene un tráfico o movimiento constante de información, procesando tanto su propia actividad como la que recibe desde su entorno. Este FLUJO de información no es simplemente un procesamiento pasivo en el cual un área inmutable cerebral (o un sistema distribuido en el cerebro) tienen una codificación inalterable de procesamiento. El cerebro es un órgano neuronal plástico, lo que significa que el procesamiento neuronal produce un cambio constante en el propio procesador.

Sabemos que estos cambios plásticos se generan en neuronas y vías neurales que producen neurotransmisores y activan receptores y que a su vez la actividad de éstos activa genes y esto último, a su vez, genera nueva síntesis de proteínas, nuevos receptores y otros componentes de membrana con un resultado final consistente en cambios bioquímicos, morfológicos y fisiológicos de neuronas y actividad de circuitos. En esta vía dinámica, el mundo de la física y la química cerebral se transforma en bioquímica y después en anatomía, fisiología y conducta como un continuum. Así pues, bioquímica, anatomía y fisiología no pueden seguir siendo concebidos como

compartimentos cerrados y estancos, sino como una línea continua a través del espacio y el tiempo.

Y es en esta línea continua en la que se encuadra aquello que llamamos mente. En Neurociencias ya no se habla de mente, porque la mente, como entidad absoluta, no existe. La «mente» como identificativa de un individuo, es decir, aquello que refiere a algo estático o permanente, insisto, no existe. Los que realmente existen son los procesos mentales, esto es, procesos, eventos o sucesos caracterizados en términos de actividad neural que cambia con el tiempo (códigos en patrones de tiempo) en circuitos interconectados y distribuidos a lo largo y ancho del cerebro. (Véase más adelante.)

La dimensión crucial de la mente (de los procesos mentales) es, pues, el tiempo (los códigos que controlan la actividad de circuitos neurales específicos), no el espacio. Utilizando una expresión poética, la mente es el tejido neural cosido con hilos de tiempo, o, si se quiere, el alma es tiempo codificado en el cerebro. Es innecesario decir, por tanto, que para la mayoría de los neurocientíficos actuales la mente no es una entidad espiritual o inmaterial ni un producto emergido o causado por el cerebro y diferente del cerebro. LA MENTE ES la actividad del mismo cerebro. Nada más, pero tampoco nada menos.

La cuestión entonces es ¿cómo es posible que los sentimientos, los pensamientos o incluso la conciencia sean de hecho la actividad de moléculas y células en circuitos específicos del cerebro? Para muchos neurocientíficos esa diferencia es sólo aparente y a esa confusión contribuyen los diferentes lenguajes que usamos para describir los mundos de la mente y el cerebro cada uno por su lado.

Una respuesta al problema se puede aproximar desde los presupuestos de una identidad entre los procesos cerebrales y los procesos mentales. Permítanme un ejemplo que ilustra lo que acabo de decir. Por ejemplo, el dolor. Cuando nos quemamos un dedo y describimos en términos neurobiológicos todos los procesos que ocurren en la médula espinal, tallo cerebral, sistema límbico y corteza cerebral; esto es, neurotransmisores, actividad genética, potenciales eléctricos y activación de circuitos neuronales en sistemas distribuidos, estamos describiendo la reacción emocional y el componente del dolor pero con un lenguaje diferente al de la psicología. En otras palabras, los sucesos neurobiológicos no están produciendo nada, ni causan nada que sea distinto a lo que expresado a nivel psicológico o mental llamamos dolor. Todos los sucesos que ocurren en el cerebro son dolor. Primero descritos en términos neurobiológicos a un nivel (neurotransmisores, sistemas distribuidos tálamo-corticales, etc.) y después cuando se siente y se percibe conscientemente, expresado en otros; esto es, expresado verbalmente en el lenguaje corriente o psicológico común.

Está claro que implícito a cuanto estoy diciendo se halla la idea de que los términos psicológicos del lenguaje común son o serán finalmente reducibles o equiparables o equivalentes a los términos de la Neurociencia. Sin embargo, soy consciente de que éste no es un problema simple. Es el gran problema filosófico del reduccionismo (Mora, 1995). En cualquier caso, la así llamada *Folk Psychology* (Psicología Popular), esto es,

los términos del lenguaje corriente con los que se manifiestan los estados mentales, muy probablemente son términos enormemente imprecisos a los que no se puede encontrar hoy una identidad con términos y conceptos neurocientíficos. Como señala Churchland:

> las concepciones actuales de los estados y procesos mentales tendrán que ser profundamente revisados y corregidos a la luz de nuevos descubrimientos, y en la medida en que tienen que ser corregidos y revisados, la posibilidad de obtener términos o descripciones idénticas (a las neurobiológicas) en el momento actual no parece posible... Es muy frecuente suponer que o bien los estados mentales son idénticos a los estados cerebrales (tal como ahora unos y otros se conciben) o el dualismo mente-cerebro es verdadero. En absoluto se sigue esta conclusión y es de esta manera que el dilema queda actualmente distorsionado.

Las teorías, en tanto que teorías y falsables, evolucionan. En el caso de la construcción de teorías que encuadren los procesos mentales y también los procesos cerebrales parece claro que pudiera esperarse que ambos co-evolucionen y este considerando es de una importancia sobresaliente cuando uno se aproxima al tema de la reducción o de identidad entre los estados mentales y los estados cerebrales.

La piedra Roseta

Existe, pues, en el mejor de los apretados resúmenes posibles un nivel de análisis y conocimiento que es el de las Neurociencias y otro nivel diferente que es el de la Psicología o mundo mental. La reductibilidad de uno a otro nivel de análisis en grado de identidad o sustitución (en el caso claro y científico de que tal identidad exista), en el momento actual se presenta como utópico. En consecuencia, parece que la vía a seguir (para quienes son partidarios de la teoría de la Identidad Psiconeural), sea la del reconocimiento tanto de estos dos planos o niveles de análisis de una misma realidad como el análisis de una eventual interrelación entre los mismos.

En esta línea de pensamiento se encuentra el neurobiólogo J. Zeki cuando señala:

> Hay en este problema una cuestión importante de CAUSALIDAD (en tanto que) los procesos neurofisiológicos del cerebro no producen o causan los procesos mentales, sino que estos últimos son unas características de los sistemas neurofisiológicos con ciertas y determinadas propiedades.

Por último, R. Llinás apostilla:

> las propiedades psicológicas que despliega el ser humano y otros animales son el producto del cerebro, no propiamente desde el punto de vista de la producción, sino que el cerebro y el estado de conciencia (léase mente) son una misma cosa,

una misma entidad.

Para quienes mantienen, pues, la teoría de la identidad entre cerebro y mente, los procesos cerebrales son los procesos mentales, siendo su diferencia el plano o nivel de análisis de uno y otro fenómeno y del lenguaje utilizado para dar explicación en cada nivel. Por supuesto, que el problema nace del acercamiento posible entre niveles de explicación. Ello requerirá eventualmente el conocimiento de un código traductor. Rose está en lo cierto al señalar que:

> ... probablemente no se encuentre nunca una única Piedra Roseta capaz de dar clara traducción a los múltiples lenguajes de los distintos niveles, pero ésa es una labor que tendremos que realizar lenta y dolorosamente en el inmediato futuro.

(Se abundará en estas reflexiones al hablar de la teoría del conocimiento unificado y la estructura de la realidad en el capítulo 7.)

Un intento científico de unificación

Nuestros conocimientos neurobiológicos actuales en relación con la actividad de diferentes sistemas sensoriales, en particular el sistema visual, la percepción e incluso la conciencia de lo que se percibe visualmente es considerable. En este aspecto, la visión ha contribuido de modo importante a la aproximación de los procesos cerebrales y los mentales. Como Posner y Raichle señalaron:

> no sólo los científicos han acumulado un conocimiento importante del sistema visual, sino que la visión es un buen punto de entrada para muchas formas de la más alta actividad mental, como patrón de reconocimiento y construcción de imágenes mentales en ausencia de estímulos externos y la interpretación de símbolos relacionados con la lectura.

Posner y Raichle han intentado establecer un puente de continuidad entre procesos cerebrales y procesos mentales a través de cinco niveles de conocimiento, que van desde la más compleja estructura mental hasta las más pequeñas unidades cerebrales. Volveremos a ello a propósito de la unidad del conocimiento, pero considero útil adentrarnos aquí en los detalles. Los niveles de Posner y Raichle son los siguientes:

1. *Sistemas cognoscitivos.* Es el nivel más alto de análisis. En esencia, los sistemas cognoscitivos refieren a todos aquellos sistemas (llamémosles mentales) encargados de realizar las actividades diarias del ser humano; es decir, leer, escribir, hablar con otros, reconocimiento de caras, planear un viaje (pensar). En concreto, hablar o leer y escribir pertenecen a un sistema cognoscitivo que es el del lenguaje en el que

participan varias estructuras y funciones cerebrales. El estudio del lenguaje constituye actualmente un área de investigación muy activa en la que se utilizan las nuevas tecnologías de análisis de imagen cerebral, como son la tomografía por emisión de positrones y la resonancia magnética.

Otro ejemplo es el de la planificación de un viaje que no sólo conlleva la activación del sistema cognoscitivo del lenguaje (leer, escribir, conversar), sino también hacer cálculos de tiempo y predicciones de futuro poniendo en relación muchas variables que involucran a su vez otros sistemas. Esto último, planificar un viaje, pertenecería a un sistema, así llamado cognoscitivo de planificación y, al igual que el del lenguaje, involucra varias y diferentes estructuras y funciones del cerebro. Estos sistemas cognoscitivos tendrían en su base las operaciones mentales.

2. *Procesos cerebrales y operaciones mentales* (propiamente dichas). Un sistema cognoscitivo está constituido o estructurado en operaciones mentales. Una tarea, como puede ser leer, o jugar al ajedrez o manipular imágenes en la mente, se puede dividir en operaciones separadas y ser éstas analizadas en relación a la actividad que genera el cerebro. En esencia quiere ello decir, como he apuntado al principio, que un sistema cognoscitivo puede subdividirse o descomponerse en múltiples operaciones mentales y éstas, a su vez, ser ancladas a la actividad concreta de áreas y sistemas del cerebro. Por ejemplo, se puede rastrear la actividad de los procesos cerebrales que se siguen tras aparecer una palabra en un monitor de televisión (sea un nombre, caballo por ejemplo) o para el caso oír la misma palabra (caballo), y tras ello ver qué áreas del cerebro se activan cuando se le pide al sujeto que cree o genere un verbo a partir de dicha palabra (caballo), es decir, que elabore, en un proceso mental, otra palabra relacionada (por ejemplo cabalgar).

   Otro ejemplo sería el decirle a un sujeto que imagine y vea (en su mente) que va andando desde su casa al trabajo y recree en sucesión las distintas partes del recorrido. Esto requiere un proceso de secuencia de imágenes visuales mentales que se pueden hilar unas detrás de otras en el tiempo. Lo sorprendente es que este ejercicio mental requiere de la actividad de las mismas áreas cerebrales que a su vez se activan cuando el sujeto ve u oye físicamente (en el mundo exterior) el mismo cuadro que evoca en su mente. Es por ello que un ciego, con lesiones de áreas visuales específicas, no puede evocar mentalmente imágenes visuales específicas (véase más adelante). Pues bien, los cognitivistas toman unidades de estas operaciones mentales con las que pueden construir un conjunto lógico y tratar de simularlas en un ordenador.

3. *Campos o dominios de ejecución.* A este nivel de análisis, la pregunta es ¿cómo un ser humano realiza una operación mental? Para ello es necesario diseñar un

modelo que incorpore las operaciones que queremos estudiar. La tarea de aislar una operación mental es relativamente fácil si dicha tarea lo es. Por ejemplo, para estudiar la formación mental de una imagen visual situamos al sujeto delante del monitor de un ordenador que aparece subdividida en un número de cuadraditos o celdillas. Y se le pide al sujeto que conteste tan rápido como pueda si una determinada celdilla, que le marcamos en la pantalla, estaría formando o no parte de las celdillas que ocuparía una letra F que mentalmente proyectara en dicha pantalla. Inmediatamente, la letra F es representada en la mente del individuo y tras ello procede a comprobar si la celdilla marcada cae o no dentro de las celdillas que ocupa dicha letra en el monitor. Esta tarea es lenta, ya que como he señalado al principio tiene que evocar la letra F y a continuación proyectarla mentalmente en la pantalla. Tras ello procede a identificar las posibles celdillas ocupadas por la letra. Rápidamente identifica las que ocupan la línea vertical de la letra F y a continuación y de modo más lento rellena mentalmente las celdillas que ocuparían las dos líneas horizontales, y finalmente decide si el punto que se le presentó en la pantalla se encuentra o no incluido dentro de la letra mentalmente creada.

Este proceso descrito indica que en el proceso mental que se sigue para la construcción de la letra F lo que primero elabora el individuo es la línea vertical y después le añade las dos líneas horizontales de ésta, construyendo primero la barra superior, más larga, y luego la inferior, más corta. Es así que la construcción mental de la letra F parece hacerse a golpes, trazo a trazo, proyectándola mentalmente en la pantalla del mismo modo que si se escribiera. Es curioso que a medida que el individuo construye la imagen de la letra mejora la velocidad a la que comprueba que la celdilla marcada cae dentro de uno de los trozos o golpes ya construidos.

4. *Sistemas neurales.* Es un primer nivel de análisis de sistemas cognoscitivos a nivel cerebral. A este nivel se saca ventaja de la neuropsicología. Es decir, pacientes con lesiones concretas y específicas de áreas del cerebro y su correlación con déficits psicológicos bien estudiados aportan datos acerca de la implicación de esta área del cerebro en dominios de ejecución de una tarea u operación mental determinada.

   Por ejemplo, la operación mental de leer un escrito para la que muchos niños presentan un trastorno: las DISLEXIAS. Hay tres formas básicas de dislexias con correlatos cerebrales diferentes: la dislexia visual, la fonológica y la semántica. Sirva aquí señalar como ejemplo el trastorno que ocurre en el caso de la dislexia visual, en el que el paciente puede ver y leer en un escrito cada palabra por separado pero sólo puede integrar las letras y obtener la palabra y su significado si lee las letras en voz alta. El correlato cerebral de este tipo de trastorno es una lesión localizada en la corteza occipital izquierda y/o lóbulo temporal. Aquí no se van a tratar de describir los diferentes correlatos entre alteraciones del

procesamiento mental y su substrato cerebral, pero sí destacar que su estudio a nivel psicológico y cerebral ha constituido un avance importante para entender mejor la relación cerebro-mente.

5. *Otros niveles neurales.* Que todo lo ya reseñado da un serio fundamento al establecimiento de un anclaje cerebral a los sistemas de ejecución de operaciones mentales, parece evidente. Con las nuevas tecnologías de imaginería cerebral, como son las ya mencionadas tomografía por emisión de positrones (PET) y las imágenes por resonancia magnética (RM), se ha avanzado mucho en este sentido. Es decir, se está logrando identificar áreas del cerebro que son activadas como resultado de una actividad mental específica realizada en ese momento por el sujeto. Estas tecnologías han dado lugar a esos grandes titulares de los periódicos en los que se dice «ver con máquinas el pensamiento de las personas». En parte, ello tiene su fundamento.

   Efectivamente, hagamos un experimento doble ciego. Imaginemos que yo le pido a un sujeto que cree una determinada imagen visual en su cerebro y que procure verla y retenerla «en la pantalla de su mente». Pues bien, si durante ese proceso un técnico (que no sabe ni se le ha dicho qué proceso mental está realizando el sujeto) analiza el cerebro de ese individuo utilizando las técnicas de PET, el técnico será capaz de decirnos que ese sujeto está manipulando imágenes visuales pero no auditivas o táctiles o para el caso gustativas u olfativas. En otras palabras, un proceso sensorial enteramente privado del sujeto (nadie puede saber lo que otro ve u oye en su mente) puede ser desvelado por estas técnicas, que permiten «desprivatizar» u «objetivar» este proceso e indicarnos, sin preguntar al sujeto, que éste está viendo algo y no escuchando o tocando algo o procesando una cierta información abstracta de memoria o realizando mentalmente un cierto plan de trabajo. Todo ello es posible porque en el caso de la visualización mental hay una activación concreta de las áreas visuales de la corteza cerebral occipital del sujeto y no de las áreas temporales (audición) o parietales (tacto). Precisamente, estas técnicas son las que han permitido un salto importante en nuestro conocimiento de cómo está organizado el sistema cognoscitivo del lenguaje en el cerebro (Poisner y Raichle, 1994).

A la búsqueda de los tiempos de la mente

Sin embargo, la Psicología cognoscitiva o la Neuropsicología no permiten, utilizando técnicas de imagen, trazar una perspectiva funcional en cuanto a la relación temporal que existe entre la activación de las diferentes áreas del cerebro que participan en la elaboración de un determinado proceso mental.

Las técnicas de imagen no sirven por sí solas, porque necesitan un tiempo de resolución

muy grande (PET unos 40 segundos de actividad) para expresar en cambios de flujo sanguíneo la actividad neuronal de un área del cerebro y este tiempo es muy superior al que utiliza el cerebro para procesar una determinada información (100, 200 o más milésimas de segundo). Una manera diferente de acercarse a este problema es el registro de los campos eléctricos del cerebro, que pueden obtenerse en forma de potenciales a través de electrodos situados en el cráneo y ser éstos posteriormente promediados y computados. Esta técnica permite medir los tiempos de activación que se suceden en las distintas áreas del cerebro y su relación con la actividad concreta mental que se le impone a un individuo. En milésimas de segundo el sujeto en cuestión pasa, por ejemplo, de ver la palabra «león» escrita en una pantalla de ordenador a ser capaz de elaborar, en un proceso mental, un verbo relacionado con ella, como puede ser el verbo «devorar».

Un ejemplo más concreto nos ayudará a entender mejor cuanto acabo de decir. Pedimos a un sujeto que esté atento a lo que aparecerá en la pantalla de un ordenador al tiempo que colocamos electrodos de registro en su cuero cabelludo para registrar la actividad eléctrica de distintas áreas del cerebro y su secuencia de activación. En un determinado momento aparece en la pantalla una serie de palabras. Pues bien, 100 milésimas de segundo tras aparecer la lista de palabras en la pantalla se registra una actividad neuronal en varias áreas del cerebro, pero con un pico de actividad más sobresaliente en el lóbulo occipital del hemisferio derecho (aun cuando también cierta actividad importante en la misma área del lóbulo izquierdo). Esta actividad parece relacionada con el proceso atencional del individuo y las características visuales del estímulo (en un sujeto entrenado este tiempo puede ser muy inferior, y llegar a los 60 milésimas de segundo o menos).

Tras ello, 150 milésimas de segundo después hay otra respuesta, más fuerte, en el lóbulo occipital izquierdo (principalmente), en su parte más anterior y cerca de la línea media. Esta respuesta parece producida ya por la forma de la palabra escrita (ocurre cuando al sujeto se le pide que de todas las palabras que aparecen en la pantalla se fije en aquellas que tengan alguna característica, por ejemplo, las escritas en negrita).

Cuando en otra serie de tests al individuo se le pide que evoque un verbo a partir de un nombre que aparece en la pantalla (es decir, que realice propiamente un proceso mental), a las 200 milésimas de segundo aparece un pico de registro de potencial en el área frontal lateral izquierda (área de Broca). Un segundo pico de activación aparece después, a las 700 milésimas de segundo, alrededor del área de Wernicke en la corteza temporal izquierda. Y tras él, otro alrededor de la corteza insular derecha a los 1.200 milésimas de segundo (segundo y medio aproximadamente).

En este ejemplo que acabo de dar sólo resalto las áreas activadas más importantes del cerebro de entre las muchas que se activan en estos procesos que acabamos de señalar, pero lo importante es que claramente ponen de manifiesto la existencia de un reclutamiento secuencial de diferentes áreas del cerebro en función a la realización de las diferentes tareas o procesos mentales. Y ello, junto a los datos de la Neuropsicología y

otras disciplinas, nos lleva de modo firme a anclar definitivamente los procesos mentales a los procesos cerebrales.

«Abajo-arriba», «arriba-abajo»

El hecho de que, como acabamos de ver (en el caso del lenguaje a partir de una lista de palabras mostradas en una pantalla de ordenador), el procesamiento de la información arranca de la actividad de las áreas sensoriales (visión) para pasar después a otras áreas del cerebro polisensoriales y de asociación, no nos debiera llevar al error de pensar que este procesamiento cerebral es unidireccional y en serie. Como hemos visto ya, en otras partes de este libro, la información sensorial es procesada en paralelo además de en serie. Y en cada salto, además, entre las distintas áreas del cerebro hay sistemas de reentradas. De manera que cuando un área o serie de circuitos en el cerebro recibe una información para ser procesada, esta área o serie de circuitos, a su vez, envía la información a las áreas de las que originalmente recibió la información. Es de esta forma que desde las áreas corticales de asociación «más altas» de procesamiento y a través de sus correspondientes niveles hay una cascada de conexiones y comunicación a las áreas sensoriales «más bajas», incluidas las sensoriales primarias (por ejemplo, la V1 o corteza estriada en el caso de la visión). En definitiva, el funcionamiento es de «abajo-arriba» (áreas sensoriales-áreas de asociación) tanto como de «arriba-abajo» (áreas de asociación-áreas sensoriales).

La idea de un sistema abajo-arriba, arriba-abajo, nos permite entender mejor lo que decíamos anteriormente a propósito de los procesos cerebrales y las operaciones mentales en el sentido de que para la creación de «imágenes mentales» en los sistemas altos del Sistema Nervioso Central se necesita reclutar las mismas áreas y circuitos utilizados para la computación o procesamiento de cualquier información sensorial específica venida del mundo externo. Ésta es una conclusión importante comprobada por datos neuropsicológicos. En otras palabras, si yo evoco una cara conocida en mi mente, muchas de las neuronas que realizan ese proceso son las mismas que se activan cuando física y sensorialmente yo veo esa misma cara. El mismo ejemplo sirve para un paisaje con sus colores. Esto explica, por ejemplo, cómo la lesión de un área cortical específica y que codifica para la elaboración de los colores impide a estos pacientes no sólo ver físicamente los colores de las cosas, sino que les impide imaginar colores (ver colores o paisajes de colores en su mente) o soñar con colores.

Un final entre cilindros y columnas

Todo ello nos lleva como final a enfrentarnos con ese gran desconocido que es el principio organizador de la función cortical. De cómo la información en todo ese

procesamiento general que llamamos pensamiento recluta, en actividad vertiginosa, las diferentes unidades, columnas, módulos o cilindros (diferentes nombres para la misma unidad de procesamiento), de que está compuesta la corteza cerebral con actividad reentrante en cada uno de ellos. De cómo estas columnas están distribuidas a lo largo y ancho de todas las áreas corticales de asociación y de cómo una función específica no reside en las columnas corticales mismas ni en sus conexiones fijas (anatomía, espacio), sino en el código de tiempo con que las columnas son reclutadas y activadas; es decir, en la dinámica del sistema. Es más, a partir de nuestros conocimientos de registros magnetoencefalográficos más recientes, parece que la misma función puede obtenerse por muchos y diferentes caminos anatómicos; esto es, por el reclutamiento en el procesamiento de diferentes módulos o columnas. Ello reitera lo ya señalado: que la función como tal no reside en la anatomía o el espacio, sino en la actividad del sistema y sus códigos de tiempo.

Todos estos considerandos nos indican además que una determinada lesión del cerebro bien localizada y relativamente pequeña nunca incapacita totalmente para ninguna determinada función mental. Es cierto que con la lesión puede disminuir la calidad de esa función, pero nunca la abole, precisamente debido a las propiedades distribuidas del sistema, cuya función puede realizarse por rutas alternativas. Con todo, es un hecho que la localización de ciertos grupos o paquetes de cilindros o columnas en áreas específicas del cerebro dan una impronta o sello especial a cada determinada función.

Un porcentaje importante del procesamiento neural (mental) que acabamos de ver se realiza de forma inconsciente y sólo una mínima parte aflora a la conciencia. Ello nos lleva de la mano de los psicólogos cuando argumentan que sólo tenemos una pequeña capacidad de introspección y de acceso a los orígenes incluso de los más altos procesos cognoscitivos. De hecho, no somos conscientes de los muchos procesamientos neuronales que dan lugar a simples actos mentales. ¿Soy acaso consciente del procesamiento neuronal que hace aflorar la imagen mental de un objeto? ¿Soy consciente de una información subliminal que recibo visualmente y que luego aflora en un acto de conducta que me hace escoger en un supermercado una marca de cerveza y no otra? ¿Cómo es que he recordado y me ha venido a la mente la cara de mi abuelo ahora mismo? Conocer los códigos por los que los hilos del tiempo corretean y cosen las costuras del tejido cerebral que atrapa los procesos mentales y los hace conscientes es el gran desafío de la Neurociencia moderna. Pero ¿qué es la conciencia? Eso lo veremos en el capítulo siguiente.

CAPÍTULO 6

LOS TIEMPOS CERRADOS Y LOS ESPACIOS ABIERTOS DE LA CONCIENCIA

> Conciencia es lo que usted tiene si está despierto y lo que usted pierde en sueño profundo o bajo anestesia y recupera de nuevo al despertar.
>
> GERALD EDELMAN.

> La ciencia es conocimiento sistemático. La filosofía es, en parte, un intento de llevarnos al punto en donde podamos obtener conocimiento sistemático.
>
> JOHN SEARLE.

La conciencia es, sin duda alguna, el núcleo central de cualquier aproximación neurobiológica a los procesos mentales. Pero ¿cuando hablamos de conciencia, de qué estamos hablando? ¿Que es conciencia? Conciencia, ser consciente, quiere decir estar despierto, darse cuenta de las cosas en el mundo que rodea al individuo y actuar sobre ellas para mantenerse vivo. «... En el hombre, además, esta propiedad se extiende a darse cuenta de su propia existencia y de sus propios pensamientos y emociones» (Mora y Sanguinetti, 1994).

Conciencia quiere decir, por tanto, no sólo estar despierto, sino tener una vida interior, no expresada en la conducta y en el mundo. Conciencia es estar vivo por dentro, recrear el mundo en el interior de ti mismo y darle además un significado. Escuchar sentado, quieto y relajado un trozo de una de las sinfonías de Mozart o de Beethoven y estar sumido en ese profundo sentimiento que te embarga, eso es también conciencia. Además, esto último, aun cuando paradójico y lejano, no deja de tener un significado de supervivencia. Escuchar un poema sinfónico o una sinfonía de Beethoven puede dar sentido a la vida de muchos individuos, es decir, «vale» vivir por ello. Precisamente, para muchos seres humanos, más allá de la comida, la bebida, el sexo y el juego, están como base de supervivencia muchos sentimientos, muchos «estados de conciencia» evocados por infinidad de percepciones. Ello incluye todo el mundo del arte y, por supuesto, la religiosidad.

Problemas fáciles y problemas difíciles

El problema de la conciencia ha sido un tema central en los estudios de la Filosofía de la mente y la Psicología cognoscitiva, pero no, hasta épocas muy recientes, de la Neurobiología. Aún hoy, para muchos filósofos hablar de la conciencia requiere distinguir dos problemas o subdividir el problema central en dos. Por un lado, el problema fácil o

grupo de problemas así llamados «fáciles» y, por otro, el difícil. Por ejemplo, Chalmers entiende por problemas fáciles aquellos que están alrededor de las siguientes preguntas: ¿cómo puede una persona discriminar diferentes estímulos sensoriales y reaccionar ante ellos de forma apropiada?, ¿cómo puede el cerebro integrar información de distintas procedencias y utilizar dicha información para controlar la conducta?, ¿cómo es posible que las personas pueden verbalizar, expresar en palabras, sus estados mentales?

Todas estas preguntas, que Chalmers entiende envuelven o están asociadas a la conciencia, pueden, según él, ser algún día contestadas por las Neurociencias. Por otro lado, «los problemas difíciles» residen en saber cómo procesos físicos en el cerebro dan lugar a la experiencia subjetiva. Es decir, cómo un sistema físico (el cerebro) o cualquier sistema físico puede tener un estado consciente, ¿por qué conciencia? —dice Chalmers —, ¿por qué no un sofisticado ordenador con entradas, procesamiento y salida de información que se ajuste a programas de supervivencia, sin conciencia, sin vida interior?

Pues bien, éste es, en esencia, «el problema difícil». Para Jerry Fodor, además, este problema difícil está tan lejos de poder ser resuelto por la Neurociencia que le lleva a decir que quienes así lo crean, es decir, quienes piensen que sí es posible resolverlo, es porque verdaderamente no lo entienden.

Este último considerando, «difícil», parece sólo una reflexión de gabinete. ¿Por qué blanco y no negro?, ¿por qué seguimos haciéndonos preguntas que ya la propia naturaleza ha contestado? ¿Acaso no es un hecho que todos los cerebros vivos de los mamíferos y en particular los cerebros complejos como es el del hombre (y quizá también un parpadeo en el cerebro de los antropoides) se han construido a lo largo de millones de años con ese ingrediente que llamamos conciencia? ¿Acaso quizá no ha sido que en los infinitos vericuetos, pruebas de azar y reajustes que a lo largo de tantos millones de años de evolución ha sufrido el cerebro, «la invención» de la conciencia ha debido ser un mecanismo poderosamente eficiente para la supervivencia del individuo? ¿A qué preguntarnos entonces acerca del cerebro como un ordenador con entradas, procesamiento y salida de información sin vida interior?

También para Searle, curiosamente, el tema de la conciencia o de la relación cerebro-mente puede ser subdividido en dos problemas, que él mismo llama el «problema fácil» y el «problema difícil». Sin embargo, Searle está lejos de ser «un misterioso» o pertenecer al grupo de filósofos «contemplativos» y tiene las raíces de sus reflexiones en la biología y el cerebro. Por ello, para él, la primera serie de problemas (fáciles) refieren exclusivamente a la relación entre conciencia y cerebro y señala que la conciencia y, por supuesto, todos los fenómenos mentales, están causados por procesos en un alto nivel de funcionamiento del cerebro. El segundo problema (difícil) y su resolución refiere a explicar en detalle cómo esto se produce realmente en el cerebro.

Con todo, sin embargo, uno de los problemas iniciales básicos para cualquier aproximación a un tema u objeto de estudio experimental tan complejo como el que nos ocupa, es acotar o demarcar claramente de qué estamos hablando, es decir aclarar o

remover los obstáculos que impiden acercarnos operativamente al problema, en este caso la relación de la conciencia con el cerebro. A este respecto dos estudios me han parecido sobresalientes y aclaratorios. Uno procede del propio John Searle, filósofo, el otro de Francis Crick, científico. Ambos se aproximan considerablemente. Por eso considero ilustrativo exponerlos y comentarlos.

Los considerandos filosóficos de Searle o cómo estudiar la conciencia científicamente

Searle destaca, junto con Francis Crick, que hoy ya es el momento maduro de considerar la conciencia como un problema científico, aun cuando reconoce algunos obstáculos filosóficos a este arranque de la ciencia. Desde la perspectiva de la filosofía considera y analiza nueve de estos problemas o «tesis» que han sido formulados por distintos pensadores a su vez y que, por tanto, han constituido un obstáculo, según éstos, para una aproximación científica al tema de la conciencia (Searle, 1998). Todos ellos conjuntan los problemas fáciles y difíciles que antes comentamos y están alrededor de la idea de cómo entender la relación entre conciencia y cerebro. En ningún caso se plantea en ellos el que la conciencia sea un fenómeno de naturaleza extracerebral. De las nueve «tesis» yo voy a resumir y comentar siete, que creo son las más relevantes para la discusión que nos atañe.

Primer problema: Refiere a la definición de la conciencia.

La conciencia no es un tema para la investigación científica porque su propia esencia está defectuosamente definida. El concepto de conciencia es en el mejor de los casos confuso y en el peor, místico. A ello Searle propone distinguir entre definiciones que tratan de la esencia del concepto y aquellas otras de sentido común que simplemente tratan de poner en claro de lo que estamos hablando. La posibilidad de aproximar una definición útil y que sirva para un trabajo experimental está en la segunda aproximación. Y es de esta manera que señala:

> Conciencia refiere a aquellos estados de estar despierto. Tal definición, cuya tarea es identificar el objetivo de una investigación científica y no de proveer un análisis, es adecuada y por supuesto exactamente lo que necesitamos para empezar nuestro estudio.

Segundo problema: Refiere a la objetividad y subjetividad de la conciencia.

La ciencia es, por definición, objetiva, pero sobre la definición de conciencia recae la subjetividad. De ello se sigue por definición que no puede haber una ciencia de la conciencia. A ello contesta Searle que podemos tener conocimiento objetivo de aspectos o dominios subjetivos. Y da el siguiente ejemplo:

> es un hecho objetivo (no una cuestión de opinión de nadie) que tengo un fuerte

> dolor en mi espalda. Aun cuando la existencia del dolor mismo sea ontológicamente subjetivo.

Tercer problema: Refiere a la causación entre fenómenos subjetivos y objetivos de la conciencia.

No hay forma de que nunca podamos dar una respuesta de cómo algo subjetivo y cualitativo (conciencia) puede ser causado por algo objetivo y cuantitativo (fenómenos biológicos). Searle contesta:

> Ahora parece misterioso que el disparo de neuronas en el tálamo pueda causar sensaciones de dolor. Yo sugiero que a través del avance de la neurobiología y las descripciones de cómo y por qué exactamente tal cosa sucede hará desaparecer esta sensación de misterio.

Cuarto problema: Refiere al significado de la conciencia.

¿Tiene la conciencia alguna función biológica? ¿Cuál es la función de la conciencia obtenida a través de la evolución? Searle contesta:

> ¿Cuál es la función evolutiva de ser capaz de andar, correr, sentarse, comer, pensar, ver, oír, hablar, reproducirse, cuidar las crías, organizarse en grupos sociales, encontrar alimentos, evitar el peligro, cultivar y construir refugios? Dado que para todos los humanos todas estas actividades al tiempo que un infinito número de otras son esenciales para su supervivencia, ésas son actividades conscientes.

Con ello quiere indicar que la «conciencia» no da nombre a un fenómeno separado y aislado de cualesquiera otros aspectos de la vida, sino que la conciencia es un ingrediente más de la conducta de los humanos y los animales superiores.

Quinto problema: Refiere a la causación o producción de los estados conscientes por el cerebro y, por tanto, a la conciencia como un estado diferente del cerebro.

Causación indica una relación entre sucesos concretos ordenados en el tiempo. La causa de que el vaso se rompa es el martillazo que yo le he dado. El martillazo se sucede con la rotura del vaso, dos fenómenos de naturaleza diferente. El comentario de Searle a este problema no merece mayor comentario dado que lo comparto enteramente. Dice así:

> Si fuera el caso que los procesos cerebrales causaran estados mentales, entonces los estados conscientes serían procesos separados de los procesos cerebrales y ello resultaría en una forma de dualismo, el dualismo cerebro-conciencia. Cualquier intento de postular una explicación causal de la conciencia en términos de procesos cerebrales es necesariamente dualista y, por tanto, incoherente. La visión científica correcta es ver que la conciencia no es sino patrones de actividad

neuronal.

Sexto problema: Refiere a cómo reducir la conciencia a sus elementos constituyentes.

Es la eterna cuestión del reduccionismo. El ejemplo más claro es el dado por Churchland a propósito del calor cuando indica que éste no existe como entidad real y medible. Hoy sabemos que el calor es sólo la energía cinética media de las moléculas en el aire que rodea a un ser vivo. Eso es el calor, nada más. En este caso, pues, el calor es enteramente reducible a sus componentes moleculares y las leyes de la energía cinética. La conciencia desde esta perspectiva, como el calor, sería reducible a la actividad de los circuitos neuronales del cerebro y las leyes que los gobiernan. Nada más. Tras el reduccionismo hay una larga historia filosófica. Searle apunta:

> cuando se estudia la conciencia científicamente, creo que debiéramos olvidar esa vieja obsesión del reduccionismo y buscar explicaciones causales. Lo que queremos es una explicación causal de cómo los procesos cerebrales producen experiencias conscientes. La obsesión con el reduccionismo es un peso que viene de una etapa anterior en el desarrollo del conocimiento científico.

Séptimo problema: Cómo expresar la conciencia en lenguaje informático y manipulación simbólica.

Este problema refiere a la tesis cognitivista de que cualquier descripción científica genuina de la conciencia debiera poder realizarse en términos computacionales de procesamiento de información. Según esta tesis, la conciencia refiere a una serie de procesos informáticos y manipulación simbólica. ¿Quiere ello decir que llegaremos a ser capaces de construir ordenadores de tal complejidad que de ella emergerá esa propiedad que llamamos conciencia? Si recordamos a Zeki al hablar del sistema visual, éste indica que la conciencia es una propiedad intrínseca al propio procesamiento de la información visual. En esa misma línea contesta Searle:

> La razón por la que no se puede analizar la conciencia en términos de procesamiento de información o manipulación simbólica es que la conciencia es una propiedad intrínseca a la biología del sistema nervioso, en tanto que el procesamiento de información y la manipulación simbólica está en relación a un observador externo al sistema.

Searle concluye sus argumentaciones considerando que la conciencia es un tema que hay que tomar seriamente como un fenómeno biológico y que, por tanto, la conciencia es producida por procesos neuronales. Procesos que son intrínsecamente internos, esto es, producen estados subjetivos como son saberse despierto y sintiente.

Una reflexión

Creo que las resoluciones a estos planteamientos hechos por Searle nos dan un panorama claro de lo que, desde la Filosofía de la ciencia, enmarca la problemática de la conciencia y su relación con el cerebro. Salvo las tesis relativas a la causación y el reduccionismo que me merecen algún comentario añadido, asumo y hago mío plenamente este posicionamiento que, como veremos a continuación, entronca plenamente con los planteamientos que ya ocho años antes hiciera Crick desde la Neurobiología en un intento de aclarar y definir las herramientas operativas que permitieran un ataque científico al problema.

Como indicaba más arriba a propósito de los problemas quinto y sexto (causación y reduccionismo), éstos merecen un posterior comentario. Efectivamente, a Searle le gusta, para aclarar su posicionamiento, dar el ejemplo de sólido. Y así señala que aun cuando la solidez de una mesa está enteramente constituida por nubes de moléculas, ésta, la solidez, es una propiedad causal añadida a la suma de los movimientos de las moléculas. Textualmente dice:

> Podemos dar un claro sentido a la idea de conciencia como a la de solidez diciendo que es una propiedad emergente de la conducta de los microelementos de un sistema que está compuesto de esos mismos microelementos. Una propiedad emergente así definida es una propiedad que viene explicada por la conducta de los microelementos, pero que no puede ser reducida simplemente a la composición y al movimiento de estos mismos microelementos. Son propiedades emergentes *causadas* por los microelementos del sistema del cual ellas mismas son características.

A donde quiero llegar es a la necesidad de perder, eliminar o recurrir al concepto de *causación* por confuso. Ya señalé este mismo argumento a propósito de los procesos mentales (véase el epígrafe «Piedra Roseta»). El cerebro no causa la conciencia. Los microelementos de Searle en el ejemplo de la solidez no causan la solidez. El conjunto de un determinado patrón de actividad neuronal no es causa de la conciencia porque éste es la conciencia misma, sólo que expresada en un lenguaje neurobiológico frente al psicológico o conductual. La solidez de la mesa no la causan la actividad de los microcircuitos moleculares que la componen dando lugar «a esa otra cosa» que llamamos «sólido». La actividad de esas moléculas o «microelementos» son, en patrones muy concretos de actividad, la solidez misma.

Esto no lleva a la idea de la identidad a la que de nuevo, ya nos hemos referido al hablar de los procesos mentales y nos volveremos a referir al hablar de la Teoría del Conocimiento Unificado. Sostengo que hay una identidad entre lo que llamamos conciencia (en términos psicológicos) y la actividad neuronal de circuitos específicos y distribuidos del cerebro. Y esto nos lleva necesariamente a su vez al tema del Reduccionismo en el que considero que la idea de causación persistente en el pensamiento de Searle obstaculiza el entendimiento fácil de su planteamiento. Por

supuesto que la conciencia, como los procesos mentales, como la solidez o liquidez del agua, no es reducible a los elementos o microelementos que la componen. Entiéndase bien, no es reducible a los elementos que la componen individualmente analizados, pero sí lo sería a su interacción bajo las nuevas leyes o propiedades que gobiernan estas interacciones. El ejemplo más simple para entender lo que digo es el del agua y sus componentes atómicos, oxígeno e hidrógeno. Remito al lector al siguiente capítulo.

Los cinco presupuestos de Crick o cómo anclar la conciencia al cerebro

Ya Crick y Koch hace diez años (1990) destacaron los siguientes puntos que supuestamente ayudarían a aclarar y desbrozar la temática que nos ocupa:

1. *Definición de la conciencia.*

Señala Crick:

> Todo el mundo tiene una idea general de lo que quiere decir estar consciente. Es peligroso entrar en el debate de una definición prematura. Es mejor esperar a entender un poco más del problema desde la perspectiva científica.

Edelman, sin embargo, indica de modo directo y taxativo:

> Conciencia o Consciencia es lo que usted tiene si está despierto y usted pierde cuando está en sueño profundo (sin ensoñaciones) o bajo anestesia y es lo que usted recupera cuando se despierta de nuevo.

2. *¿Para qué sirve la conciencia?*

Pudiera ser prematuro adentrarse en la contestación de esta pregunta, señalan Crick y Koch, ya que consideran que nadie debe preocuparse sobre la función de algo de lo que no se tiene una idea clara qué es. A este respecto Blakemore, en 1974, fue explícito al indicar que:

> El Sistema Nervioso no ha evolucionado como un sistema o un diseño biológico para el ejercicio intelectual o la reflexión consciente. Simplemente hizo los animales mejor preparados (lo que incluye la conciencia y el propio hombre) para alcanzar sus metas biológicas, comer, beber y reproducirse.

De ahí una conclusión importante, ya señalada al principio de este mismo capítulo, la conciencia tiene claramente que ver con la supervivencia del individuo. Precisamente se ha postulado que el dolor (la experiencia del dolor, producido por una injuria corporal o la muerte de un ser querido) bien pudiera haber estado en el nacimiento de la conciencia en

el hombre y no sólo como experiencia subjetiva, sino también como conciencia del «otro» al observar en él reacciones similares a las nuestras ante el mismo tipo de estímulo y experiencia.

3. *¿Tienen conciencia los animales?*

Los autores asumen que algunas especies de animales, en particular los mamíferos superiores, poseen algunas de las características esenciales de la conciencia, aun cuando no necesariamente todas. Por esta razón, experimentos con tales animales pudieran ser relevantes para descubrir los mecanismos que subyacen a este proceso. De ello se sigue que el lenguaje no es esencial para la conciencia. Esto es, uno puede tener las características claves de la conciencia sin lenguaje. Ello no quiere decir que el lenguaje no pueda enriquecer la conciencia de una manera importante. Crick y Koch consideran, no sin cierto aparente humor, que no es útil a este nivel del proceso argumentar si animales «inferiores», tales como el pulpo, la drosofila o el nematodo, son conscientes. Es probable, sin embargo, que la conciencia se correlacione en cierta medida con el grado de complejidad de cualquier sistema nervioso.

4. *Hay muchas formas de conciencia.*

Tales como las asociadas con cualquiera de los sentidos. Recuérdese el gran capítulo de las agnosias. Se puede perder la conciencia visual (por una lesión en la corteza cerebral en el área estriada V1 por ejemplo) o ser completamente ciego, pero el individuo no deja de ser consciente de lo que oye y siente a través de este otro sentido. La conciencia de la parte contralateral del cuerpo se puede perder tras una lesión en las áreas 5 y 7 de Brodman. Hay una pérdida bastante selectiva del reconocimiento de expresiones emocionales por lesión de las amígdalas, etc.

La autoconciencia es para Crick y Koch un aspecto que consideran autorreferenciado de la conciencia y que ello es meramente un caso especial de la misma. Pero aun así, consideran que es mejor aparcarlo de cualquier aproximación o planteamiento científico en el momento actual. La intencionalidad y también varios estados poco usuales, tales como los hipnóticos, sueños lúcidos, sonambulismo debieran también ser dejados de lado, a menos que resultasen tener especiales características que las hagan especialmente ventajosas para la experimentación.

5. *Ninguna teoría neuronal de la conciencia lo explicará todo sobre la conciencia.*

Por ello consideran mejor intentar construir una hipótesis general atacando experimentalmente algunos de los componentes dominantes del proceso y de este modo avanzar en la construcción de modelos cada vez más sofisticados.

Estas reflexiones sucintas, pero claras y relativamente simples, fueron la avanzada

para que los científicos comenzaran a hablar, sin rubor, sobre la conciencia. En estos pocos años estudios del cerebro desde muchas y muy diversas perspectivas metodológicas han ido disecando los distintos componentes de la conciencia.

Algunos considerandos sobre el tiempo, el espacio y la conciencia. De lo único y singular a lo diverso y diferente

La señal de salida hacia la experimentación sobre la conciencia ha sido dada. Multitud de estudios y revistas especializadas publican ya mensualmente datos que eventualmente deben constituir las piezas neurobiológicas que, a su vez, pueden juntas darnos una idea de lo que es el gran puzzle de la conciencia. Obvio es decir que, precisamente, porque nos encontramos al principio de esta historia, muy poco consenso se ha alcanzado entre los neurocientíficos acerca de este problema. Pero sin duda, es hoy uno de los temas más desafiantes que ocupará el trabajo de muchos de ellos en este nuevo milenio.

Ya señalábamos al principio del capítulo que existen dificultades importantes para conseguir una definición formal y operativa de lo que es conciencia. Con todo (Crick, 1994) y Edelman y Tononi (2000) han llegado a la conclusión de que la conciencia «depende crucialmente de alguna forma de la memoria a corto plazo y también de mecanismos atencionales seriados». Por su parte, Edelman y Tononi consideran que «la experiencia consciente es un proceso que es unificado y privado, que es extremadamente diferenciado y que se desarrolla en una escala de cientos de milisegundos». Analicemos brevemente estos conceptos.

Un acto de conciencia es claro que depende de un acto atencional. Sólo de aquello a lo que prestamos atención podemos ser conscientes. La propia atención es un acto complejo que requiere a su vez de la *emoción* y la *motivación* (lo que te dice la fuente externa y llama tu atención). Esto mismo es la base fundamental del aprendizaje y la memoria. No se aprende a menos que prestemos atención y no prestamos atención a menos que la fuente del estímulo tenga algún significado para nosotros. De ahí que ya señalara Goethe que «sólo se aprende aquello que se ama».

Es también claro que un acto de conciencia y por ende el propio proceso de la atención requieren de un tiempo determinado de realización. Efectivamente, hay un tiempo mínimo para que cualquier fenómeno entre en nuestra conciencia, y seamos por tanto conscientes de que tal fenómeno ha ocurrido. Por ejemplo, si a un individuo se le proyecta en una pantalla un punto con una luz de longitud de onda de 531 nm (verde) durante 20 milésimas de segundo y seguidamente otra luz de longitud de onda de 558 nm (rojo) durante otras 20 milésimas de segundo, el individuo no declara haber visto verde primero y rojo después, sino una mezcla de ambos colores. En otras palabras, el sujeto declara haber visto un punto de color amarillo. Este fenómeno indica que lo percibido (de modo consciente) es como si ambas longitudes de onda hubiesen sido proyectadas al mismo tiempo.

De ello se saca la conclusión de que un tiempo mínimo es requerido para procesar la información sensorial y ser consciente de ella. Ese tiempo está en el orden de 60 a 70 milésimas de segundo. Esto no es una regla fija. Sujetos entrenados tienen un tiempo perceptivo más corto y dependiendo del sistema sensorial (visión, audición, etc.), también los tiempos son diferentes. En cualquier caso, la idea clara de que se necesita un tiempo mínimo de exposición y permanencia de un estímulo al que estamos atentos, para que el individuo se torne consciente de él, tiene una base experimental (tiempo general estimado entre 50 y 250 milésimas de segundo).

Otra característica de la percepción consciente es su singularidad. En estudios de psicofisiología se pone claramente de manifiesto que no se puede ser consciente de dos escenas al mismo tiempo. Esto lo indica la visión de las así llamadas «figuras ambiguas» que son una sola figura o dibujo pero construidas de tal modo que según se focalice la atención pueden verse dos figuras diferentes, aun cuando alternativamente, y nunca al mismo tiempo. El acto de conciencia, pues, es un acto único en el tiempo y en el espacio, comprendido de una única «escena» que no puede separarse en otros componentes. De ahí que nuestra conciencia (general) dependa de una serie de «mecanismos atencionales seriados», como señalaba Crick. Es decir, de una secuencia de actos de conciencia.

A esta captación y creación de un percepto se le llama a nivel neuronal *integración*, constituido por un agrupamiento funcional de neuronas (véase más adelante). Este acto de conciencia conlleva la subjetividad. Es experiencia única y personal (un acto unificado y privado). Nunca puede ser compartida por otro. La conciencia dinámica que poseemos del mundo es, por tanto, una serie de actos singulares y «diferenciados» que se suceden en el tiempo. Estos actos únicos, privados y diferenciados (Edelman), y que nos permiten pasar de una escena a otra, ocurren en los tiempos que antes señalamos y es lo que nos hace ser conscientes de muchas cosas (una detrás de otra) en muy corto espacio de tiempo, por ejemplo en un solo segundo. Para construir esas conciencias dinámicas se requiere además la llamada memoria a corto plazo.

La memoria a corto plazo es necesaria para mantener recuerdo del episodio consciente. Efectivamente, cada «acto atencional» que da lugar a un «acto perceptivo consciente» debe ser puesto en memoria a corto plazo, sea esta la llamada memoria icónica (menos de un segundo) o propiamente la memoria a corto plazo o de trabajo (unos pocos segundos). Ello permitirá el proceso por el que las sinapsis activadas durante la evocación consciente de un determinado objeto se vean reforzadas y puedan recordarse de inmediato.

De la conciencia sensorial a la conciencia emocional

La literatura médica ilustra sobre múltiples procesos cerebrales que abocan a la pérdida parcial de ciertas conciencias. Pongamos la conciencia de la visión de un objeto como ejemplo. Los pacientes con el síndrome llamado de «la visión ciega» son individuos que

ven pero no son conscientes de que ven. Estos pacientes pueden seguir con el dedo un punto de luz proyectado en un monitor o pantalla con bastante precisión, pero niegan absolutamente que lo están viendo (porque de hecho no saben que ven). Tienen capacidad para responder a la localización en su campo visual de un punto o línea, su orientación y movimiento y las longitudes de onda (colores) aun cuando al parecer son incapaces o tienen mucha dificultad en diferenciar por ejemplo un triángulo de un cuadrado. En cualquier caso, pueden discriminar estímulos sencillos presentados en la pantalla.

¿Cómo lo hacen? ¿Cómo pueden estos pacientes ver y no saber que ven? No se sabe la contestación a estas preguntas, pero sí parece que el área visual primaria V1 (la corteza estriada) es crucial para el proceso consciente de lo visto. De hecho, las lesiones en estos casos de visión ciega han venido detectándose en el área V1. Por ello se piensa que estos pacientes pueden ver a través de vías alternativas que no generan conciencia, como por ejemplo la vía que va desde el ojo (la propia retina) hacia el tronco del encéfalo (colículos superiores) o desde el tálamo (ganglios geniculados laterales) a otras áreas de la corteza visual, como las áreas V4 y V5, sin pasar por las áreas primarias (V1). Lo que parece evidente es que la información visual alcanza áreas motoras (el paciente apunta con el dedo el objetivo en la pantalla) sin que, como he señalado, pase por su conciencia. Se puede postular, señala Zeki:

> que la visión ciega es la consecuencia de una condición en la cual no hay un disparo sincrónico de neuronas entre las áreas visuales. Dicho de modo más simple, los grupos de repertorios neuronales necesarios para la percepción consciente de la visión no pueden formarse.

Hay otros muchos ejemplos, así, en el síndrome de «agnosia para las caras» (por lesión de las amígdalas), el individuo ve una cara y sabe que es una cara pero no sabe qué cara es, no aflora a su conciencia si corresponde a un familiar, un amigo, si es cara conocida o desconocida. Otros síndromes incluyen la falta de reconocimiento emocional de las caras. El individuo en este caso no sólo sabe que es una cara, sino que reconoce a quién pertenece, pero es incapaz de distinguir si la cara representa un estado alegre, triste o agresivo. Es un claro caso de agnosia o pérdida de la conciencia emocional.

Una historia sobre la finura en la conciencia del yo (de la autoconciencia) nos la cuenta Alexander Luria, el famoso neurólogo ruso que transcribió los pensamientos de un soldado que fue herido en la corteza parietal durante la Segunda Guerra Mundial:

> De pronto miro a mi parte derecha (del cuerpo) y descubro que la mitad de mi cuerpo ha desaparecido. Estoy horrorizado. Trato de imaginarme qué ha ocurrido con mi brazo y pierna derecha. Muevo los dedos de mi mano izquierda y los siento pero no puedo ver los dedos de la mano derecha e incluso no soy consciente de que están ahí. Con frecuencia incluso olvido dónde está mi

antebrazo o mis nalgas o lo que esas palabras significan.

Este paciente tiene claramente alterada la relación entre la mente consciente y su propio cuerpo. La parte contralateral de su propio cuerpo ciertamente es visible pero perdida para su conciencia: «Cuelga como un parásito ajeno a su propio yo».

Circuitos cerebrales y conciencia: la visión como ejemplo

¿Dónde pueden estar localizados los sustratos neurales de la conciencia?, ¿dónde, en el caso de la visión, se localiza aquello que me permite ver y saber lo que veo?

Durante las dos últimas décadas se ha realizado un inmenso trabajo tratando de entender cómo el cerebro puede percibir (ver) un simple objeto. Ya señalamos en detalle este proceso al hablar de la emoción. Baste recordar aquí de nuevo que un simple objeto, por ejemplo una manzana, se analiza por el cerebro separándolo en sus muchos componentes simples, como forma, orientación, color, profundidad, movimiento, localización del objeto, etc. Y también, que tal variedad de tipos de información se distribuye a través del cerebro en áreas y circuitos diferentes donde será analizada y posteriormente almacenada. Sin embargo, no vemos la forma o el movimiento de la manzana separado de la percepción de la manzana como objeto simple. Ello nos lleva a que el cerebro debe, de alguna manera, unir o poner juntas todas las características de la manzana para que se obtenga un percepto «completo y único». Por tanto, cuando se mira un simple objeto, el cerebro requiere de una unión temporal de la actividad de todas las neuronas que forman los diferentes circuitos que codifican para las diferentes características que componen ese objeto.

Según Zeki, la conciencia visual sería una propiedad biológica o ingrediente más de la organización neural cortical que procesa activamente la información visual y no un proceso separado y posterior a este procesamiento. La conciencia surgiría así de la interacción funcional de todas las áreas que codifican para aspectos concretos de un objeto concreto, a través del disparo sincrónico de las neuronas concernientes y de su información reentrante en todas las áreas. Estas dos ideas, conciencia perceptiva como fenómeno local intrínseco a las áreas visuales e información reentrante entre esas mismas áreas, las expresa el propio Zeki de la siguiente forma:

> La conciencia es una característica intrínseca a la organización de, por ejemplo, el movimiento y el color y también de muchos otros sistemas neurales, aunque no todos. No hay color a menos que yo lo vea y yo no lo puedo ver si no soy consciente. No hay percepción consciente a menos que ciertas organizaciones neurales estén intactas y funcionando normalmente y es una característica de esas organizaciones neurales el que poseen conciencia [...] una revisión de los datos experimentales y clínicos sugiere que para la percepción consciente de un estímulo visual y por tanto para la adquisición de conocimiento acerca del mundo

> visual es necesaria la actividad simultánea de muchas áreas visuales, y a menos que esta condición sea satisfecha, el estímulo visual no alcanzará nunca la conciencia [...] parece lógico que la toma de conciencia del estímulo visual se haga posible no sólo por la actividad simultánea y correlacionada de neuronas en las diferentes áreas visuales, sino también por las reuniones y reentradas entre ellas.

De la importancia de las conexiones reentrantes entre áreas cerebrales para la conciencia señalan Tononi y Edelman:

> Existe evidencia considerable que indica que la integración de poblaciones neuronales distribuidas en el cerebro a través de interacciones reentrantes se requiere para la experiencia consciente.

Finalmente, Crick y Koch sugieren que una de las funciones de la conciencia es presentar el resultado de las computaciones que subyacen al proceso de poner juntas todas las características del objeto y que en esto participa de modo importante el mecanismo de la atención. Atención que uniría temporalmente las neuronas que participan sincronizando sus disparos en oscilaciones de 40 Hz.

Se piensa que la atención (de la que ya hemos hablado) puede incrementar la sobresaliencia de ciertos estímulos (por ejemplo, una cara entre muchas, ejemplo que ya mencionamos al hablar sobre la emoción) activando así la fuerza ya existente entre los grupos neuronales que se activan creando la «cara» en el cerebro. A este respecto son interesantes los experimentos que muestran que el ritmo de descarga de las neuronas en el sistema visual del primate aumentan en relación, no a que el mono vea algo, sino a que lo que vea esté en el campo de su atención e interés. Muchas áreas del cerebro parecen involucradas en este proceso atencional, desde el tronco del encéfalo (sustancia reticular y los colículos), tálamo (núcleos pulvinar e intralaminares o de la línea media), hasta la corteza cerebral (corteza parietal posterior).

Los tiempos cerrados y los espacios abiertos de la conciencia: las hipótesis de Crick, Edelman y Llinás

El gran salto está en hablar de la conciencia en general y, dentro de ella, la autoconciencia sobre presupuestos neurobiológicos. Y ese salto ya ha sido dado. En sus formulaciones más reduccionistas voy a destacar brevemente las hipótesis de Crick, Edelman y Llinás.

Crick propone que a pesar de las muchas formas distintas que la conciencia puede adoptar, dependiendo de qué área de la corteza cerebral participe en cualquier momento, todas ellas pueden estar relacionadas con uno o desde luego muy pocos mecanismos básicos de actividad neuronal. En un momento concreto, el acto de ser consciente de algo se corresponde con «un tipo particular de actividad en un grupo de neuronas que

son, a su vez, un subgrupo de un grupo mucho mayor». La sincronía en el disparo de estos grupos de neuronas, retroalimentación entre esos grupos y diferenciación frente a otros grupos neuronales, sería la base de la teoría de Crick. De ello se deduce que un grupo de neuronas contribuye directamente a la experiencia consciente sólo si es parte de un grupo distribuido y sólo en él habría sincronía de disparo (una sincronía del disparo de neuronas global del cerebro, y no diferenciado como el que ocurre en un ataque epiléptico, no produce conciencia sino todo lo contrario, pérdida de la misma). Esta especulación llevó a Crick y Koch a preguntarse:

1. ¿Dónde están estas neuronas?
2. ¿Son estas neuronas de algún tipo en particular?
3. ¿Qué hay en ellas de espacial, si es que hay algo especial, con respecto a sus conexiones?
4. ¿Qué hay de especial, si hay algo especial, sobre la forma en que descargan sus potenciales de acción?

Tononi y Edelman han criticado esta aproximación después de considerar que:

> atribuir esta propiedad (tipos especiales de neuronas o conexiones) a las neuronas parece contribuir a un error importante, en el sentido de adscribírseles propiedades que no pueden tener.

Y frente a ello proponen la hipótesis del centro dinámico que describen de la siguiente manera:

> Proponemos que un gran racimo de grupos neuronales que unidos constituyen, en una escala de tiempo de cientos de milisegundos, un proceso unificado neural de alta complejidad sea llamado el «centro dinámico» para poder poner de relieve tanto su integración como sus patrones de cambio constante. El centro dinámico sería un agrupamiento funcional o un proceso que ya viene caracterizado en términos de una actividad e interconexiones siempre cambiantes en el tiempo y no como una «cosa» o una «localización». Este proceso se caracteriza porque sus grupos neuronales participantes son más intensamente interactivos entre ellos que con el resto de las neuronas del cerebro. El centro dinámico puede incluso tener una gran complejidad: sus patrones de actividad global deben ser seleccionados en menos de un segundo entre un numeroso repertorio de neuronas.

Para Tononi y Edelman esta actividad está distribuida en el sistema tálamo-cortical, en el que participan las interacciones reentrantes, la atención y la memoria de trabajo de la que ya hemos hablado. Esta asunción se basa en que lesiones de este sistema, en algunas de sus partes, produce pérdida de conciencia, mientras que lesiones de la corteza cerebral, fuera de este sistema específico, no tienen efectos directos sobre la conciencia.

Estudios recientes usando las técnicas de magnetoencefalografía parecen indicar que los grupos neuronales activados por este sistema tálamo-cortical se encuentran distribuidos por áreas occipitales, temporales y frontales. Datos que se sustentan además con los obtenidos en primates en los que se ha demostrado una correlación estrecha entre experiencia consciente y actividad neural en la corteza prefrontal sostenida por interacciones reentrantes entre regiones de esta misma área prefrontal y la corteza parietal.

Es de esta manera que cambios en la experiencia consciente se correlacionarían con cambios en la actividad neural específica, sean estos cambios producidos por estímulos externos (percepciones), memoria, imágenes mentales o en el sueño REM. Quizá una de las formulaciones originales de esta hipótesis, como ya hemos señalado, es que el centro dinámico se concibe, no como un grupo invariable de neuronas o circuitos distribuidos pero fijos a lo largo del cerebro, sino como un grupo de circuitos que pueden cambiar a través del tiempo e incluso a veces pueden servir de base para la experiencia consciente, mientras que otras veces pueden estar relacionados con procesos inconscientes.

Llevando todas las ideas antes expresadas a un lenguaje asequible, éste sería el siguiente: Mientras un individuo focaliza la atención en algo que le interesa durante más de 60 milésimas de segundo (tiempo mínimo, menos del cual como ya hemos visto el individuo puede ver algo e incluso guardar memoria de ello pero no alcanza la conciencia), un grupo de neuronas sincronizan su disparo o se activan conjuntamente. No necesariamente es el disparo sincrónico de las neuronas tanto como el reclutamiento funcional de un grupo de neuronas en el que unas disparan (se activan) mientras otras se inhiben o se vuelven silenciosas. Milésimas de segundos después, cuando nuestro foco de atención cambia hacia otro objetivo, otro grupo de neuronas es reclutado. En este caso no necesariamente es un nuevo grupo de neuronas. Puede ser parte de las neuronas que componían el grupo anterior junto con otras nuevas. Y es así que diferentes actos de atención pueden reclutar muchos y diferentes grupos de neuronas en muchas y múltiples proporciones y a lo largo y ancho de toda la corteza cerebral y tálamo.

Podríamos imaginar a la corteza cerebral como un árbol de Navidad con millones de pequeñas luces de colores conectadas de tal manera que entre ellas no haya nunca el encendido «fijo» de un determinado grupo, sino que cuando se produce el encendido de un pequeño grupo, éste lo hace de modo «funcional»; esto es, estas bombillas en un momento dado pueden formar un grupo por sí mismas, pero a su vez cada una de las bombillas puede formar parte de otros grupos diferentes. De hecho pueden formar parte de cientos, miles, millones de grupos neuronales. La idea es que «el equipo» activado es funcional y «variable» y nunca anatómico y «fijo». En otras palabras, la anatomía (espacio) provee las conexiones *(hardware)* pero no el código (tiempo) de funcionamiento. Estas ideas van todavía más lejos, ya que muchas de estas unidades bien pudieran, en un determinado momento, participar en un proceso de conciencia, pero otras participar en procesos que no lo son.

Rodolfo Llinás, sobre la base de estudios magnetoencefalográficos, ha propuesto que precisamente el sistema tálamo-cortical que comprende una colección de regiones talámicas específicas (el complejo ventrobasal) y no-específica (núcleos intralaminares o de la línea media) y sus respectivas conexiones con la corteza cerebral son el componente central de los substratos del conocimiento. Llinás sostiene que las oscilaciones de 40 Hz que pueden ser registradas en muchas áreas de la corteza cerebral resuenan con las oscilaciones neurales en los núcleos talámicos. Estas oscilaciones exhiben un cambio de fase; esto es, progresan, desde las partes más anteriores de la corteza cerebral (polo frontal) hasta las partes más posteriores (polo occipital) con un barrido de toda la corteza que dura de 12-13 milésimas de segundo. Dice Llinás:

> integraciones de procesos sensoriales (contenido), en un estado computacional amplio que es el substrato de los procesos cognoscitivos está en función a una unión temporal de actividades oscilatorias del cerebro.

En este sistema tálamo-cortical el componente específico provee el «contenido» relacionado con el mundo externo, mientras que el componente no-específico daría la unión temporal del fenómeno.
Durante tal unidad de tiempo (12 mseg) el cerebro puede procesar un suceso simple o quantum. La cognición, por tanto, sería una recogida de periodos o quantums de tiempo. Los circuitos activos en el cerebro («circuitos cerrados» que funcionan independientemente de la información sensorial) «barren» la corteza cerebral cada 12 milésimas de segundo. La sucesión de los barridos proporcionaría la película continua de nuestro ser y estar en el mundo.

Según esta hipótesis, nuestro conocimiento y nuestra conciencia estarían hechos de unidades temporales. De *quantums* como la energía. Como apostilla Llinás, «nuestro cerebro trabaja en pedazos de tiempo». De ser ello así, el conocimiento constante y continuo de nosotros mismos y el mundo lo obtendríamos por el acoplamiento temporal de los fragmentos o quantums de conocimiento que proporciona cada barrido cerebral. Algo así como una película de cine. Todos sabemos que la realidad, vívida y continua, que se desarrolla en la pantalla son realmente fotogramas, fragmentos o unidades estáticas que son pasados ante nuestros ojos a una velocidad determinada. De igual modo lo sería nuestro propio conocimiento.

En 1977 Blakemore señalaba:

> el investigador del cerebro hoy está casi tan impotente para evaluar la conciencia como lo está un ordenador para juzgar la belleza o ponerle precio a un cuadro de Rembrandt.

Esto fue dicho hace más de 30 años. Desde entonces se ha dado un gran salto hacia delante.

CAPÍTULO 7

LA TEORÍA DEL CONOCIMIENTO UNIFICADO

> El lenguaje aúna y divide al mismo tiempo nuestro conocimiento del mundo y de nosotros mismos. Para describir un mismo objeto de estudio utilizamos lenguajes diferentes dependiendo de la perspectiva, ciencia o nivel de análisis con que se hace la observación. En el futuro se requerirá un tremendo esfuerzo de síntesis para buscar y encontrar un lenguaje común o encontrar la Piedra Roseta capaz de convertir un lenguaje en otro.
>
> FRANCISCO MORA.

¿Se puede construir una nueva teoría básica sobre el hombre, fundamentada en los conocimientos actuales que aportan las ciencias del cerebro? Es decir, ¿se puede alcanzar una nueva concepción del hombre en tanto que enraizada en una nueva fuente de conocimientos?

Las ciencias del cerebro, las Neurociencias, van conformando en los últimos años trozos de un nuevo cuerpo de pensamiento sobre el hombre en el que convergen no sólo los conocimientos empíricos y las teorías científicas, provenientes de casi todos los campos del saber, sino su integración en teorías generales del Universo.

Esta nueva concepción enmarca al hombre como «uno», no dividido en dualismos (espíritu-materia), producto de millones de años de evolución y consustancial y pariente de sus congéneres los animales. Del hombre como producto de un trasiego constante de información a lo largo y ancho de su cerebro; entre su cerebro y su cuerpo, y entre éstos y el medio que le rodea. Es decir, de una nueva concepción en la que cerebro y cuerpo se identifican con historia personal y esta última con filogenia y ontogenia.

Niveles, puentes y emergencias

En esta tarea lo que se necesita es el esfuerzo de clasificar y estructurar por niveles todos los conocimientos que se tienen sobre el hombre. En otras palabras, se necesita una teoría que unifique dicho conocimiento. Como señalan Churchland y Sejnowski:

> Las discusiones en relación a la naturaleza de los fenómenos psicológicos invariablemente hacen referencia a la noción de niveles.

Durante los últimos pocos cientos de años, el hombre ha analizado el Universo, incluido él mismo, dividiéndolo en trozos. Cada grupo de científicos (y también filósofos y pensadores) en cada disciplina y con las herramientas de análisis disponibles en cada momento ha analizado su campo de estudio dividiéndolo y subdividiéndolo y tras ello, y

a su nivel de análisis, ha intentado entender y describir el significado de esa pequeña pieza de la realidad. Hoy estamos comenzando a darnos cuenta que dado que todo es un «continuum» en el Universo, incluido el hombre, nunca podremos alcanzar un entendimiento aceptable de una parcela única de análisis y desde luego no su significado completo, debido a que éste sólo se puede encontrar cuando esta pieza de la realidad se une a otro fragmento de esa misma realidad, muchas veces a un nivel diferente de organización.

A cada nivel de estudio, la ciencia en general y la Neurociencia en particular han creado sus propias herramientas de análisis, lo que incluye un lenguaje específico de descripción y entendimiento. Las Ciencias del Hombre son como *una torre de Babel* con mucha gente trabajando en ella y hablando muchas y diferentes lenguas y, por tanto, no entendiéndose los unos con los otros. Ha llegado la hora de que las Neurociencias y las Neurociencias Cognoscitivas intenten una *síntesis* y construyan puentes entre niveles de análisis, aproximando lenguajes para un mejor entendimiento de esa *única realidad que es el hombre*. De hecho, así es como yo veo una de las tareas más importantes de las Neurociencias hoy.

Una de las llaves en este intento de aproximación de niveles de análisis es comprender que de un nivel a otro hay un salto que implica la *emergencia* de nuevas propiedades en el nuevo nivel (el de arriba) que *no son reducibles* a las del nivel precedente (el de abajo) cuando se estudian por separado sus elementos. Estas nuevas propiedades emergentes, sin embargo, son completamente dependientes de los elementos del nivel precedente aun cuando, como digo, no a los elementos por separado que componen ese nivel. La *emergencia* en este caso significa aparición de nuevas propiedades que se deben a la interconexión de sus elementos y los códigos funcionales y temporales que los rigen.

Éste es un tema complejo que ya señalaron, a propósito del reduccionismo, Churchland y Sejnowski: «conocer el nivel celular y molecular, aun exhaustivamente, es necesario pero no suficiente para entender el nivel de circuito». En algún sentido estas ideas refieren a una propiedad emergente de los sistemas cuando se pasa de un nivel a otro, pero que serían «reducibles» al nivel inferior si conociéramos las leyes que gobiernan los constituyentes y sus relaciones de este nivel. Es decir, nada emerge nuevo sin poder ser reducido de alguna manera al nivel inferior. A esto lo llama Dennet «emergencia inocente». En esta misma línea de pensamiento se encuentran la mayoría de los científicos. Zeki, por ejemplo, señala:

> la visión de los colores por ejemplo es una característica de un circuito neuronal con ciertas propiedades. De ello no se sigue que las neuronas individuales que componen el circuito sean capaces ellas mismas de ver en color.

El agua es un buen ejemplo

Para mejor entender cuanto acabo de decir se puede utilizar el más simple y clásico ejemplo que es el del agua. El agua está hecha de átomos de oxígeno e hidrógeno. El agua, por tanto, a nivel atómico, es oxígeno e hidrógeno. Sin embargo, sabemos que el oxígeno por sí solo y el hidrógeno por sí solo no son agua. Esa molécula particular que llamamos agua, con todas sus propiedades, sólo se obtiene por la particular unión del oxígeno y el hidrógeno. Y esta molécula, también todos lo sabemos, tiene unas propiedades y una apariencia externa diferentes de la de sus componentes. Y también sabemos que las leyes que rigen las propiedades del agua son diferentes a las que rigen el comportamiento del oxígeno y el hidrógeno antes de unirse para formar la molécula de agua.

¿Quiere todo esto decir acaso que de la unión del oxígeno y el hidrógeno, en una determinada manera «emergen» nuevas propiedades como de la nada y que además no son atribuibles a sus componentes, ni «reducibles» al entendimiento de la interacción atómica de los elementos que conforman esa molécula? En otras palabras, ¿podemos acaso pensar que esta emergencia molecular adquiere propiedades autónomas independientes de esa otra realidad que es su substrato atómico? ¿Acaso no es susceptible de entendimiento científico (por muchas lagunas que haya todavía) ver que el agua desde «arriba» (líquida, sólida o gaseosa) tiene una realidad descriptible desde las propiedades y variaciones físicas, flujos, condensaciones, remolinos, turbulencias, caos o fractales, o más allá en el plano literario y poético, colores, lluvia, mar, olas, ondulaciones, o todavía más allá, evocadora de frescura, placidez, horror, miedo, etc., pero que esa misma realidad es también susceptible o podría ser susceptible de ser descrita a nivel matemático del comportamiento atómico-molecular?

¿Acaso no es coherente pensar que cada nivel de descripción requiere de un lenguaje diferente, pero que a la postre todo ello refiere a una y sólo a una misma realidad o identidad que se llama agua, sólo que vista en planos y con instrumentos de observación y análisis diferentes y expresados éstos en lenguajes diferentes? Precisamente, la integración y el entendimiento de niveles y entre niveles es la *piedra angular* de lo que hemos querido expresar como los fundamentos de una teoría o hipótesis del conocimiento unificado.

Volviendo al tema del cerebro (lo que incluye naturalmente los procesos mentales y la propia conciencia) convendría recordar de nuevo que al igual que hemos visto para el agua, el esfuerzo de esta unificación reside en «coser» o «echar puentes» entre los distintos niveles de análisis y, desde luego, tener clara la idea de qué niveles pueden y deben ser investigados.

Niveles elementales

Al hablar en el capítulo 5 sobre la mente ya se mencionaron los niveles propuestos por Poisner y Raichle para establecer un puente entre cerebro y procesos mentales.

Volveremos después sobre ello. Ahora convendría recordar de aquel esquema los elementos básicos del cerebro (microscópicos, moleculares) que quedaron subsumidos a un quinto nivel al que se llamó *nivel neural*. Este nivel neural puede ser hoy subdividido, a su vez, en múltiples otros niveles de análisis. Así, Churchland y Sejnowski destacan tres ideas acerca de lo que se puede entender por niveles cuando se aplica al cerebro: (a) Niveles de organización, (b) Niveles de procesamiento, y (c) Niveles de Análisis. Permítanme que los describa y discuta brevemente.

a. *Por niveles de organización* se entiende básicamente la organización anatómica de los diferentes sistemas cerebrales, bien sistemas sensoriales (visuales, auditivos, tacto, etc.), motores u otros. Es decir, las estructuras y la jerarquía entre estas estructuras desde los niveles más básicos a los más altos. Ello incluye los niveles de moléculas, sinapsis, neuronas, redes neuronales y mapas hasta llegar a los sistemas. Una estructuración similar hizo Shepherd (1979) al señalar como niveles de arriba abajo la conducta, los sistemas (motor, sensorial, de asociación) y vías que los comunican, los circuitos neuronales en cada sistema, las neuronas que los componen, los microcircuitos sinápticos de cada neurona, además de la convergencia a cada neurona de múltiples entradas (las sinapsis o cada conexión específica) y, finalmente, la membrana de esas sinapsis con su tráfico de iones y moléculas.

b. *Por niveles de procesamiento* se entiende «el puente entre anatomía y lo que está representado en la anatomía». El mejor ejemplo para entender este nivel sería el sistema visual. En él encontraríamos los niveles elementales de

1. La retina.
2. Los ganglios geniculados laterales (tálamo).
3. La corteza visual primaria (área 17 de Brodmann).
4. Las cortezas visuales secundarias (áreas 18 y 19 de Brodmann).

En cada uno de estos niveles anatómicos se trataría de ver, cómo la función se ejecuta de una forma jerarquizada y cómo se corresponde con un grado cada vez más alto y complejo de procesamiento a medida que la información alcanza la corteza cerebral. Efectivamente, hoy se sabe mucho de cómo funciona el sistema visual. Así, utilizando trazadores de marcaje neuronal y sobre todo registro de la actividad unitaria (actividad de una sola neurona), sabemos que este sistema procesa la información en más de 25 áreas visuales diferentes y que ésta sigue tanto vías paralelas como análisis por convergencia e integración en los distintos niveles (Zeki).

c. *Por niveles de análisis* se entiende a toda la serie de preguntas acerca de cómo el cerebro resuelve o realiza una determinada tarea, a cómo esta tarea es subdividida por el cerebro en subtareas y cuáles, a su vez, son los niveles de procesamientos para ejecutar

esas subtareas analizando los diferentes substratos físicos del cerebro. En esencia refiere a los niveles de computación que el cerebro realiza en cada nivel para llevar a cabo una determinada función.

Todo ello puede realmente resumirse señalando que el estudio del cerebro y sus funciones requiere de un análisis por niveles y subniveles, y que una aproximación válida y útil a estos niveles es, en primer lugar, la organizativa o anatómica. Cada uno de estos niveles de organización debe implementarse con el estudio funcional o procesamiento hasta sus niveles más básicos teniendo en cuenta que cada función puede analizarse subdividiéndola en sus diversos componentes.

De más abajo a más arriba

En una primera aproximación, los tres niveles antes considerados podrían converger a su vez en los siguientes niveles elementales de estudio:

1. Moléculas.
2. Sinapsis.
3. Neuronas.
4. Redes neurales.
5. Mapas.
6. Sistemas neurales.

Así podríamos hablar del nivel más básico que son las moléculas. Y de ahí pasar al estudio de las membranas, receptores y transportadores que conforman las sinapsis, es decir, los puntos de contacto entre neuronas. Cada sinapsis puede estar comunicando información a través de varias sustancias químicas; son los neurotransmisores y sus receptores. Hoy todavía no se conoce propiamente la intimidad de ese funcionamiento y cómo ese trasiego de información es integrado finalmente por la neurona.

Hoy sabemos, además, que la neurona no es un elemento pasivo que sencillamente integre la información que recibe y que como resultado de esa integración (inhibición-excitación) transmite o no la información. Por el contrario, la neurona es un elemento activo con su propio código de ritmos y funcionamiento que añade a la integración de entradas que acabamos de mencionar.

Un nivel superior de integración es el de interconexión entre neuronas para formar la base propiamente funcional del cerebro; es decir, las redes neuronales o microcircuitos. Estos microcircuitos no sólo los forman las neuronas con sus interconexiones «cableadas», sino también las conexiones extrasinápticas. Esto es, conexiones «químicas», realizadas por neurotransmisores que viajan más allá del confinamiento témporo-espacial de las sinapsis y modulan o pueden modular todo el circuito

interneuronal. Actualmente desconocemos las consecuencias funcionales de este nuevo tipo de transmisión que llamamos transmisión volumétrica. Pero estos nuevos conocimientos nos están invitando a pensar que cuando se habla del cerebro como un ordenador, *un ordenador físico*, basado en las conexiones directas (axones y dendritas), «cables», como únicos puentes de transmisión de información entre «chips» o neuronas, estamos ciertamente utilizando una visión parcial de cómo funciona el cerebro. Hoy empezamos a pensar que el cerebro es más bien un *ordenador químico* en donde los «chips» o neuronas no se comunican solamente por los «cables» o sinapsis, sino por moléculas químicas que viajan largas distancias.

El ensamblaje de microcircuitos conformarían macrocircuitos extensos a lo largo y ancho de determinadas áreas del cerebro, conformando los mapas y los diferentes sistemas del cerebro que procesan informaciones determinadas y específicas, por ejemplo la visión, la audición, el tacto, etc. Así, ya hemos referido en varias partes de este libro los conocimientos que la Neurociencia ha aportado al funcionamiento del sistema visual. Es este un buen ejemplo en donde la Neurociencia ha permitido un nivel de conocimiento neuronal más detallado y desde donde se empiezan a responder preguntas, en lenguaje neurobiológico, que hasta hace muy poco sólo la Psicología y sus términos psicológicos podían intentar describir.

Como continuación de estos sistemas están los macrocircuitos de la corteza cerebral con sus áreas polisensoriales de asociación. La función de estas áreas de asociación en relación a las funciones superiores del cerebro del hombre (procesos mentales) es, en términos neuronales, desconocida. Mountcastle ha propuesto la teoría de los sistemas distributivos de la corteza cerebral basada en la idea de que funciones cerebrales específicas estarían codificadas en circuitos establecidos entre columnas corticales. En estos circuitos, la función sería una propiedad dinámica y no dependiente, estrictamente, de su anatomía. Esta teoría indica, además, que los circuitos intercolumnares tendrían multiubicación anatómica y posiblemente redundante a lo largo y ancho de toda la corteza cerebral. El mismo Cajal no andaba lejos de estas ideas al proponer en su tiempo «la ausencia de localización cortical para los fenómenos psíquicos superiores».

Si a este sistema de niveles y escalas funcionales se añaden los niveles de Poisner y Raichle (véase capítulo 5 sobre la mente), esto es, los dominios de ejecución, las operaciones mentales y finalmente los sistemas cognoscitivos, tendríamos con ello una escala de niveles y análisis que nos permitiría entender el intento de la ciencia actual en construir un modelo unitario del hombre.

El proyecto cerebro humano

Que tal intento es un claro propósito de la ciencia actual nos lo indica la creación del Proyecto Cerebro Humano (1980). Dicho proyecto nació de discusiones entre neurocientíficos y directores de programas de investigación en los institutos nacionales de

salud norteamericanos. La idea perseguía crear una base de datos incluyendo todos los conocimientos de la Neurociencia y buscar con ello, además, posibles nuevas tecnologías capaces de investigar nuevos retos teóricos.

Varias agencias norteamericanas endorsaron y avalaron este proyecto en un intento parecido a lo que ocurrió con el Proyecto Genoma Humano que tanto fruto ha conseguido y que recientemente parece haber concluido su secuenciación. Un proyecto de estas características necesita no sólo de científicos que trabajen en el sistema nervioso, sino de informáticos de alto nivel y, desde luego, de otros muchos científicos de áreas de conocimiento afines. La propuesta recientemente evaluada (Shepherd *et al.*, 1998) incluye de «abajo»-«arriba» los siguientes niveles de análisis y sus correspondientes estudios y contenidos experimentales:

Niveles de análisis

1. Genes.
2. Moléculas.
3. Organelas.
4. Microcircuitos.
5. Compartimentos neuronales.
6. Neuronas.
7. Regiones específicas.
8. Sistemas distribuidos.
9. Conducta.

Cada uno de esos niveles se corresponde con el estudio de:

1. Secuencias del ADN y proteínas.
2. Modelos moleculares tridimensionales de receptores, canales iónicos, enzimas y proteínas estructurales, fisiología y farmacología molecular de los neurotransmisores, moduladores, hormonas y otras moléculas, factores de crecimiento y factores de trascripción genética.
3. Estudio de la estructura bi y tridimensional y también composición molecular de las sinapsis, mitocondrias, microtúbulos, etc., registro de potenciales y corrientes sinápticas.
4. Estructura tridimensional y reconstrucción de patrones sinápticos, farmacología de las sinapsis, patrones de descarga de potenciales de acción añadidos a corrientes y potenciales sinápticos.
5. Estudio tridimensional de las terminales axónicas, conos de crecimiento, dendritas, espinas dendríticas, localización tridimensional de organelas y microcircuitos sinápticos.
6. Morfología tridimensional de la neurona. Estudio funcional tridimensional por

técnicas de imagen, registros electrofisiológicos de los patrones de descarga de potenciales de acción y corrientes de membrana.

7. Estudio citoarquitectónico bi y tridimensional de las capas y columnas funcionales (de la corteza cerebral), localización de receptores y neurotransmisores, estudio de mapas anatómicos, fisiológicos y metabólicos.
8. Estudios bi y tridimensionales del marcaje con trazadores de axones entre diferentes regiones cerebrales, registros electrofisiológicos (tiempo y patrón de espigas), estudio del cerebro por técnicas de imagen y mapas tridimensionales del cerebro.
9. Cuantificación de la conducta, estudio con monitores de vídeo y estudio del efecto de las drogas.

El futuro del Proyecto Cerebro Humano está en crear y diseñar nuevos procedimientos informáticos que permitan más eficientemente catalogar y comparar los datos acumulados y que de un modo acelerado se publican todos los días en revistas de Neurociencias. La tarea es enorme. Y no sólo en cuanto a clasificar los datos nuevos que emergen de los distintos niveles de análisis ya diseñados, sino de la integración de nuevos datos que necesitan de reclasificación. Por ejemplo, los últimos descubrimientos sobre el nacimiento de nuevas neuronas en el Sistema Nervioso Central del animal adulto e incluso envejecido; la transformación de células nerviosas del sistema nervioso del animal adulto en células madre, etcétera. Y junto a ello la idea expresada y elaborada en varias partes de este libro acerca del cambio y la transformación constantes que el medio ambiente ejerce en las conexiones y circuitos del cerebro vivo. Esto obligará a reevaluar el análisis de los niveles estudiados con una nueva dimensión: aquella del tiempo como transformador del espacio.

Reconsiderando la organización de niveles: un paréntesis

Con todo, sin embargo, el estudio de la anatomía y funcionamiento por niveles del cerebro, que posiblemente refleja además la adquisición de los mismos a lo largo de la evolución (filogenia), no son los niveles con los que se construye la realidad a lo largo del desarrollo ontogénico de los seres vivos. El ejemplo de la filogenia es relativamente simple. La construcción de niveles a lo largo de la evolución es, al menos para el cerebro, el añadido de niveles y sus interconexiones de organización cada vez más compleja a partir de aquel modelo de cerebro «inventado» hace casi 500 millones de años. Sin embargo, en cada organismo, en su desarrollo ontogénico, el orden de adquisición de los niveles funcionales, que debiera reflejar el orden de adquisición de los niveles de lo más simple a lo más complejo, no se sigue.

Son a este respecto interesantes los estudios de neurosemántica (Churchland, 2000) acerca de la adquisición de los significados de las cosas en relación con sus mecanismos

cerebrales. Por ejemplo, el niño durante el desarrollo del lenguaje adquiere primero el nivel conceptual más complejo y sólo después adquiere el poder analítico para discriminar los componentes elementales de ese concepto. Un ejemplo claro lo indica Churchland:

> los niños aprenden a discriminar caras de otras cosas y a discriminar entre caras mucho tiempo antes de que hagan lo mismo para los ojos, narices, bocas u orejas. A medida que sigue el proceso de aprendizaje aprenden sucesivamente a discriminar ojos de otras cosas y a discriminar entre los diferentes tipos de ojos mucho antes de que puedan hacer lo mismo para las pupilas, pestañas, iris o cristalinos. Los conceptos de niveles básicos, aquellos que aprenden primero los niños, son muy raramente, si es que lo son alguna vez, los así llamados conceptos «simples» de Locke y Hume. En general, los primeros conceptos que se aprenden son aquellos que estos autores clásicos hubieran llamado ideas altamente «complejas», tales como galleta, perro, cara o pájaro y zapato. Sólo después empiezan los niños a adquirir una familia de conceptos subordinados, tales como petirrojo, loro o cuervo, matizando así los conceptos anteriores de pájaro, o de labrador o husky, afinando así el concepto precedente de perro. Y todavía más despacio aprenden a desarrollar un marco de conceptos superordinarios tales como animal para agrupar pájaros, perros y caballos o ropas para unificar zapatos, calcetines y pantalones.

De esto último se desprenden lecciones importantes que permiten poder acercarnos a cómo la naturaleza construye sus niveles de complejidad. Mientras que en la filogenia parece que el método claramente —no podría ser de otra manera— va de niveles más simples a niveles más complejos, en la ontogenia la construcción de niveles se hace de un modo variado. En algunos episodios de ese proceso va de más complejo a más simple para pasar en otros, después, a la estructura de más complejo. Está claro que la clasificación de complejo y simple obedece a las consideraciones que antes hemos establecido, esto es, por complejo se entienden conceptos (perro) que pueden subdividirse en niveles o conceptos subordinados (ojo, nariz, etc.) (simple), que a su vez son componentes de otro nivel más simple (pupila). Después, según este análisis, se alcanzan de nuevo en el proceso ontogénico niveles más complejos, como por ejemplo el concepto de animal.

Es fácil entender que el proceso ontológico de construcción de niveles (en el niño la adquisición de conceptos) obedezca a un determinante fundamental, el de la supervivencia. Para seguir vivo es importante distinguir, desde muy temprano, un perro de un león o de un conejo, antes que sus ojos o sus pupilas de modo aislado. ¿De qué le sirve, en el caso del ejemplo del niño, adquirir y distinguir durante un periodo temprano de su desarrollo narices y ojos antes que formas completas de leones o perros? Distinguir la forma completa de un león antes que cualquier otro componente aislado de su cara o

cuerpo tiene claramente una impronta biológica de valor supremo. De hecho, como vimos a propósito de la emoción, la impronta emocional de un estímulo viene dada por la llegada a los circuitos límbicos del objeto como forma ya única y con ello la respuesta de ataque o huida. Ello, una vez más, tiene que ver con la supervivencia.

De las Ciencias a las Humanidades

De lo dicho hasta ahora parecería que sólo está en manos de los científicos y de la ciencia la resolución de todos los problemas referidos a la unificación de los conocimientos sobre el hombre. No sólo los problemas estrictamente científicos, sino también los epistemológicos y éticos, y también los metafísicos. Y desde luego, nada más lejos de mi pensamiento esta idea. Pienso que la ciencia o los científicos con sus metodologías y sus lenguajes, por sí solos, nunca podrán ofertar explicaciones a todos los problemas y desde luego no al problema en particular que nos ocupa, el estudio del hombre. Pero sí creo, como una máxima ambición, en la posibilidad de que se pueda elaborar una teoría del conocimiento unificado sobre el hombre en el que las ciencias básicas fueran el anclaje de las Humanidades. Obvio es decir que tampoco creo que los cultivadores de las disciplinas de «la otra orilla» del saber (humanidades) puedan dar una explicación del hombre por sí solas. Creo, sin embargo, y muchos piensan ya así, que es de la integración de ambas que puede nacer una nueva dimensión en este problema. Es más, y con enorme entusiasmo intelectual para muchos, creo que estamos asistiendo a un momento, quizá único en la historia del pensamiento, en el que se está tendiendo un puente entre las disciplinas de las humanidades y las disciplinas científicas. En ello desempeñan un papel clave las ciencias del cerebro.

Hasta ahora, el divorcio entre estas dos grandes ramas del saber ha sido un hecho claramente reconocido, al tiempo que se ha reivindicado constantemente un acercamiento de las mismas. Pero esta reivindicación, señalada en todo momento desde el lado de las Humanidades, ha tardado en encontrar respuesta desde el lado de la Ciencias. Y quizá no tanto porque no haya habido preocupación en esta orilla del saber por el tema, sino, tal vez, por una clara falta de conocimiento que haya permitido ese puente.

Empezamos a ver, como digo, un cambio, en esta perspectiva. Desde las así llamadas ciencias duras y menos duras, como la Física, la Química o la Biología y desde luego las Neurociencias y otras disciplinas se vislumbra un claro acercamiento que viene impuesto por la necesidad de encontrar una nueva visión del mundo y del hombre. Desde la Física, Schrödinger señalaba:

> Se va imponiendo el conocimiento de que toda investigación especializada únicamente posee un valor auténtico en el contexto de la totalidad del saber. Progresivamente van perdiendo terreno las voces que acusan de diletantismo a quien se atreve a pensar, hablar o escribir sobre tem9as que requieren algo más

que la formación especializada.

Desde la Biología decía Young:

> Algunos pensadores siguen manteniendo que aquellos que estudian «la mera materia», como por ejemplo el cerebro, debieran dejar el estudio de los «fundamentos» a los expertos que se preocupan primariamente por el hombre y las «humanidades». Debo repudiar firmemente esta visión porque implica una dicotomía del conocimiento.

También Wilson indicaba:

> Estoy más persuadido que nunca de que ha llegado el momento de cerrar esa famosa separación entre las dos culturas.

Hacia la unificación del conocimiento

Por tanto, estamos realmente asistiendo al comienzo de una nueva era en el estudio del hombre, de nosotros mismos. Esa nueva era requerirá, no tanto de nuevos conocimientos, que serán sin duda fundamentales, sino de un *continuum* en las disciplinas de todo el arco del saber. Tanto, que me atrevo a vaticinar nuevas áreas de estudio en las universidades en las que haya disciplinas que tengan como estructura fundamental la integración de los conocimientos. Incluso voy más allá, al proponer nuevos currícula académicos que consistan en «disciplinas de conocimiento unificado». Es decir, que cada disciplina de ese currículum recorra todo el arco del conocimiento, desde la historia a la estructura atómica y utilizando para ello el lenguaje que es adecuado a cada nivel de estudio y sus interrelaciones.

¿Qué quiero decir con todo esto? ¿Y cómo podrían estructurarse estas materias? ¿Qué método permitiría tal unificación? ¿Acaso pudiera encontrarse un lenguaje común para todas ellas o al menos unas equivalencias? ¿Existe ya un diccionario que permita traducir los lenguajes utilizados en los diferentes niveles de estudio?

En cualquier caso, la integración y el entendimiento de niveles y entre niveles es la piedra angular de lo que hemos querido expresar como los fundamentos de una teoría o hipótesis del conocimiento unificado. Pero tanto si la predicción de nuevas disciplinas de «conocimiento unificado» se cumple en un futuro lejano, como si no, lo que me parece evidente es que las humanidades están abocadas a ser estudiadas, y en algún caso reevaluadas, desde los nuevos conocimientos científicos. Sin ellos, sin los conocimientos científicos, las humanidades quedarán como el agua descrita a nivel poético, es decir, algo así como una descripción superficial de los fenómenos, sin entrar en el conocimiento de los pilares que la sustentan y le dan fundamento.

El futuro es impredictible, pero también inevitable. Las propensiones o tendencias de

las Neurociencias actuales, aun cuando en esencia impredictibles, tienden a su realización. Si ésta se cumple, lo cual puede depender de muchos factores aleatorios, nos encontraríamos al principio de cambios importantes en el conocimiento del funcionamiento cerebral y, por ende, del ser humano. Necesariamente, y desde los nuevos conocimientos, cambiará el lenguaje y los conceptos hasta ahora expresados en la psicología cotidiana o popular en aquellas funciones «de todos los días», como son la memoria, el aprendizaje, las percepciones, etc. Con ello no quiero decir que el lenguaje cotidiano se verá inexorablemente invadido por términos estrictamente científicos pero sí concibo que haya un cambio lento hacia una terminología que se acerque más y más a la descripción real del fenómeno tal cual se concibe en términos científicos.

Quizá nos baste con comenzar aproximando lenguajes por las personas que más cerca se encuentran de la concepción real de los fenómenos sin que ello signifique que estas personas tengan que renunciar al lenguaje común, el de «todos los días». Señalaba Skinner:

> Nadie mira por encima del hombro a un astrónomo cuando le oye decir que el sol sale o que las estrellas aparecen por la noche, porque resultaría ridículo reclamar que ese astrónomo debiera siempre hablar con propiedad: que el sol aparece paulatinamente sobre el horizonte conforme la tierra gira, o que las estrellas se hacen visibles cuando la atmósfera deja de refractar la luz del sol. Lo que de él sí podemos esperar es que nos proporcione, cuando ello sea necesario, ciertas explicaciones más precisas.

Necesariamente, además, con esta aproximación de lenguajes, o bien se encuentra un nuevo lenguaje como vehículo de nuevas concepciones o bien las antiguas concepciones remozadas cambiarán a su vez nuestro propio concepto de la naturaleza humana. De esta forma, como ha señalado Patricia Churchland:

> aquellos que suponen que Ciencia y Humanismo están de pique, recibirán las predicciones del futuro sin ningún entusiasmo. Tenderán a ver la revisión de la psicología popular y el aumento de nuevas teorías neurobiológico-psicológicas como una irreparable pérdida de nuestra humanidad. Pero también se puede ver de otra forma. Puede ser ciertamente una pérdida, pero no de algo necesario para nuestra humanidad, sino de algo meramente familiar y bien conocido. Pudiera ser la pérdida de algo que, aun cuando de segunda naturaleza, zarandea nuestra familiar comprensión e irrita nuestra intimidad. La ganancia en el cambio puede ser de un profundo aumento en la comprensión de nosotros mismos, lo cual, en el más profundo sentido, aumentará, en vez de disminuir, nuestra humanidad. La pérdida, por el contrario, puede incluir ciertas presunciones y mitos populares que, desde el punto de vista de lo justo y cabal, podemos llegar a ver como inhumanos. Eliminar de nosotros mismos cosas como las mencionadas más arriba están en el espíritu tanto del Humanismo como de la Ciencia. En cualquier caso

es un error mirar a la Ciencia como planteada en oposición al Humanismo.

CAPÍTULO 8

LO QUE NOS ENSEÑA EL CEREBRO: DEL «CONÓCETE A TI MISMO» AL «HAZTE A TI MISMO»

> Toda persona es única, singular e irrepetible. No hay nadie ni como usted ni como yo en el mundo. Y eso se debe a las interconexiones que se producen en cada cerebro.
>
> GERALD EDELMAN. *Coloquio.*

Al pie del monte Parnaso, hacia el año 500 antes de Cristo, se encontraba en plena vida la ciudad griega de Delfos, célebre por ser uno de los principales centros religiosos de la antigua Grecia. En ella se encontraba el Templo de Apolo, célebre a su vez porque en él residía el famoso oráculo de Delfos y la Sibila, sacerdotisa de Apolo, encargada de transmitir sus oráculos. En el frontispicio del Templo de Apolo se podía leer el siguiente precepto «Conócete a ti mismo». Lema que, al parecer, tomó Sócrates como camino moral para la mejora del ser humano. Desde entonces este aserto ha sido repetido, con enorme fortuna, nada menos que casi a lo largo de 2.400 años. Aserto o regla de oro para alcanzar la propia madurez, el desarrollo pleno de la personalidad y, finalmente, como vía única de alcanzar la felicidad.

De conocer a construir

A muchos alcanza ya que no somos conscientes del procesamiento cerebral que conduce a los cambios expresados en los pensamientos y sentimientos que se suceden en todos y cada uno de nosotros a lo largo del día, de los días y de nuestra vida. Tampoco atisbamos a saber, a ser conscientes, de los cambios de nuestra conducta o línea de vida y motivaciones en función a nuevos conocimientos sociales, morales o simplemente emocionales. Es por eso que la introspección (el rebuscar y revolver en el almacén de nuestro cerebro) si ha resultado ser algo útil no es porque proporciona un conocimiento de nosotros mismos, sino muy posiblemente, porque nos transforma a nosotros mismos. El conócete a ti mismo sin más receta queda, pues, en una sentencia histórica acuñada en el marco de un desconocimiento de cómo funciona el cerebro, y basado en una concepción filosófico-religiosa equivocada, aquella en la que yo soy yo y mi «ser inmutable».

De nuevo hay que recordar que nuestro cerebro en su propio funcionamiento se hace día a día, en su sentido más físico y químico, en su interacción con el medio ambiente en que nace, crece y se desarrolla.

Y que el ser humano, como todo ser vivo y con el devenir del tiempo, cambia

constantemente tanto en su cerebro como en el resto de su cuerpo. Cambia su personalidad e incluso su identidad. Uno mismo sabe que, con el tiempo, piensa de distinta manera, ve las cosas de distinta manera, siente de distinta manera y actúa con preferencia sobre cosas diferentes a lo largo toda su vida. Buenos amigos en el colegio o la universidad que se han separado luego y no se han visto en treinta años llegan a no reconocerse incluso físicamente. Y más todavía, cuando hablan, durante largo rato, ambos se dan cuenta que «aquel» que hay enfrente de ellos no es ese amigo que dejaron en la universidad hace tanto tiempo. Es otra persona física y psíquicamente.

Y ¿acaso tal cosa no sucede con uno mismo? Mi yo de hoy difiere de modo importante de mi yo de hace treinta años. Mi identidad como yo, que parece persistir sin embargo a lo largo del tiempo, es realmente una actualización constante y consciente de todas las percepciones que recibo de mí mismo cada minuto, cada día, en el marco de mis percepciones anteriores. Posiblemente esa actualización sólo descansa durante las siete horas de sueño. Y es a la mañana siguiente, cuando me levanto y me miro por primera vez al espejo, que retomo mi yo y mi constante e incansable reactualización de mí mismo. Enmarco cada pensamiento, cada sentimiento, cada arruga nueva de mi cara y de mi cuerpo en una constante actualización y cambio de mi cerebro que además soy yo mismo. Eso hace que exista el «fantasma» de mí mismo. Y eso sucede igualmente en el cerebro de quienes en casa, en la familia o colegas en el trabajo te ven varias horas todos los días. Sin embargo, tal cosa no sucede en el cerebro del amigo que no te ha visto en treinta años. Su actualización de ti en su cerebro no ha ocurrido, ni tampoco ello es posible en las pocas horas o días que puede durar el encuentro tras los treinta años de separación. No es posible su actualización de ti mismo, ni en lo físico ni en lo psíquico. Tú eres ya una persona diferente y él también. Hay personas que tras perder la visión durante años (siendo niños o incluso adultos), cuando la han recuperado no han sido capaces de reconocerse a sí mismos.

Ya David Hume, perspicaz analizador de la naturaleza humana, supo ver, desde bases puramente especulativas, la no existencia de un algo permanente e inmutable que llamamos yo:

> No existe un solo poder del alma que permanezca inalterable, siquiera por un momento. La mente es una especie de teatro en el que distintas percepciones se presentan en forma sucesiva; pasan, vuelven a pasar, se desvanecen y mezclan en una variedad de posturas y actuaciones. No existe en ella ni simplicidad en un tiempo, ni identidad a lo largo de momentos diferentes, sea cual sea la inclinación natural que nos lleva a imaginar esa simplicidad e identidad. La comparación del teatro no debe confundirnos: son solamente las percepciones las que constituyen la mente, de modo que no tenemos ni la noción más remota del lugar en que se representan esas escenas, ni tampoco de los materiales de que están compuestas. ¿Qué es entonces lo que nos induce con tanta intensidad a asignar una identidad a estas percepciones sucesivas y a creernos en posesión de una existencia invariable

e interrumpida durante toda nuestra vida?

Los cambios y los recambios del cerebro

Durante el desarrollo y la vida adulta, el cerebro cambia constantemente su bioquímica, anatomía y fisiología y hoy sabemos que el aprendizaje y la memoria son actividades de conexiones sinápticas entre neuronas, modificadas bajo el control de una actividad genética específica. El entrenamiento de animales para una determinada tarea produce la síntesis de nuevas proteínas neuronales. Dicha síntesis provoca primero la activación de los así llamados genes inmediatos tempranos con la producción de sus productos proteínicos c-fos y c-jun. Estas proteínas pueden, a su vez, actuar como activadoras para otros genes cuyos productos pueden eventualmente cambiar la estructura de la membrana y sinapsis y a partir de ahí sus funciones.

De este modo, la bioquímica se hace morfología fortaleciendo a su vez la sinapsis y, por tanto, afectando las señales (propiedades) de neuronas, circuitos y conducta. Está claro, asimismo, que las experiencias de aprendizaje y las memorizaciones no están confinadas a un simple grupo de sinapsis en un *locus* cerebral definido, sino que según se conforma la memoria a largo plazo (años) estos cambios en las sinapsis se distribuyen ampliamente a través de diversas regiones de la corteza cerebral. Es de esta manera como se construye un cerebro individual y único en contacto permanente con su medio ambiente.

Está claro, pues, que aprender, memorizar, olvidar, significa justo eso: cambiar constantemente el cerebro. Cierto que nuestros conocimientos provienen de la experimentación animal, pero no existe razón alguna para pensar que tal cosa no sucede de igual modo en el cerebro humano. Es más, no hay ninguna razón para pensar que tales cambios sinápticos y moleculares no acontezcan en el cerebro humano como resultado del aprendizaje intelectual, emocional, social y moral. ¿Y acaso el resultado de todo ello no es un cambio en los procesos mentales y en la conducta?

Kandel ha señalado, en una revisión reciente, relacionada con los genes, conducta y mente:

> No habrá cambios en la conducta que no se reflejen en el sistema nervioso ni cambios persistente en el sistema nervioso que no se reflejen como cambios estructurales de algún nivel de resolución. La experiencia sensorial diaria, deprivación sensorial y aprendizaje pueden probablemente conducir a debilitamiento de conexiones sinápticas en algunas circunstancias y a un fortalecimiento de conexiones en otras.

Kandel abunda en esta idea sobre el cerebro humano al señalar que:

> cuando un terapeuta habla a un paciente y el paciente escucha, el terapeuta no

sólo está realizando contacto visual y vocal, sino que la acción de la maquinaria cerebral del cerebro del terapeuta está realizando un efecto indirecto y esperanzadoramente a largo-efecto en la maquinaria neuronal del cerebro del paciente, y posiblemente viceversa. A la vez que nuestras palabras producirán también cambios en la mente de nuestros pacientes, es probable que estas intervenciones psicoterapéuticas produzcan cambios en el cerebro del paciente. Desde esta perspectiva, las aproximaciones biológica y sociopsicológica se unen.

Yo medito, yo cambio

El conócete a ti mismo, como abstracto, es un error en sí mismo porque parte de una concepción estática del «sí mismo». No es que la introspección personal o dirigida por otro para encontrar ese «sí mismo» sea estéril, es simplemente una concepción equivocada. Si la introspección, la meditación o el psicoanálisis cobran valor no es porque descubran el yo inconsciente y oculto, sino porque transforman esos procesos cerebrales de un yo siempre en cambio en una dirección diferente a la propia dinámica a la que viene sometido por su medio ambiente, social o moral.

Me atrevo a creer que el proceso de pensar sobre mí mismo en «sesudas» sesiones de meditación, es un proceso que puede ser, con el tiempo, de transformación por aprendizaje, como lo puede ser por interacción con la cultura de mi medio ambiente. De hecho, no creo en una meditación que sirva o cambie nada si ocurre completa y absolutamente en ausencia de todo contacto o referencia con un determinado medio ambiente. Ésa es la extrañeza de mi cerebro, mi mente y mi autoconciencia. Este proceso es claramente un proceso genuinamente humano, quizá el más extraño y el más profundamente desconocido. El de cómo el cerebro cambia al propio cerebro. Cómo puedo adquirir conocimiento gracias a mi conciencia no sólo de fenómenos físicos del medio ambiente, sino de mí mismo en transformación.

Algunas reglas de oro

Aun con el declinar de los mecanismos plásticos de mi cerebro con la vejez, éste aprende y memoriza, luego cambia. Quizá en ese proceso de cambio durante el envejecimiento hay reglas especiales que puedan ser aplicadas según las exigencias con uno mismo y los «motivos» que uno tenga para seguir cambiando, exponiéndose a nuevos ambientes y exigencias físicas e intelectuales. Para el viejo hay una regla de oro: seguir exigiendo aprendizaje a su cerebro. Para que ese proceso ocurra, ver la televisión o leer una novela sirven poco. El cerebro requiere de exigencias. Por ello se recomienda que a partir de cierta edad, por ejemplo 50 años, el individuo aprenda un idioma nuevo. Con ello uno se obliga a aprender, memorizar y motivarse a conocer gentes y países nuevos. A seguir vivo, en definitiva. El cerebro con ello se transforma y entiende de esas exigencias que le

llevan a seguir en lucha por la existencia.

El final de estas reflexiones es éste: hazte a ti mismo durante toda la vida. No sólo durante el desarrollo y hasta los 18 años en que la ley considera al ser humano mayor de edad y con deberes y responsabilidades civiles. El ser humano no es eso. El ser humano no es incluso un proyecto por hacer hasta llegar a la edad adulta o madura. El ser humano es un proyecto en desarrollo constante, incluida la vejez, hasta llegar a la muerte. Un proyecto en constante cambio, en donde el antes nutre al después y el yo de antes se transforma en el yo de después.

Y todo ello tiene que ver con nuestra libertad. Es claro que la libertad es un acto de elección consciente. Una elección entre cosas u opciones. Pero ese acto, con su libertad intrínseca y no coaccionada, viene predeterminada en parte por el marco personal de referencias que posee el individuo en su cerebro. La libertad nos permite escoger, pero es una elección constreñida por nuestras elecciones previas. Nuestras elecciones cambian y recambian nuestro cerebro al colocarnos constantemente ante nuevos marcos sociales e intelectuales elegidos por nuestros constantes actos libres. Conociendo esta consecuencia parece evidente que somos y nos hacemos con nuestras elecciones. Es más, nuestras futuras elecciones dependen en buena medida de las elecciones previas. De ahí que debiéramos elegir en función de lo que conscientemente queremos hacer de nosotros mismos, sabiendo que cada acto de elegir compromete la dirección que llevarán las futuras elecciones. Es con esa libertad que uno puede esperar, de verdad, construirse a sí mismo.

De ser todo esto así, en nuestras manos está, en las manos de cada ser humano, el uso de una verdadera regla de oro: vive y expónte a un medio ambiente moral, social e intelectual que enriquezca tus conexiones cerebrales en la dirección de ser futuras referencias inconscientes a tu futura conducta consciente. Haz el esfuerzo por encontrar el medio ambiente social y moral de referentes sólidos y bien cimentados que construyan tu propio cerebro y con ello sí alcanzarás el pleno desarrollo de «ti mismo».›

CAPÍTULO 9

¿QUÉ NOS HACE HUMANOS?

> Si la verdad, si todas las verdades no están sujetas al examen del «ensayo y el error», si no existe una libertad que permita a los hombres cuestionar y compulsar la validez de todas las teorías que pretenden dar respuesta a los problemas que enfrentan, la mecánica del conocimiento se ve trabada y éste puede ser pervertido. Entonces, en lugar de verdades racionales, se entronizan mitos, actos de fe, magia.
>
> MARIO VARGAS LLOSA. *La Odisea de Karl Popper.*

¿Qué nos hace humanos?

¿Qué es el ser humano? El ser humano es, como todo en la naturaleza, un proceso, un ser vivo en cambio constante de su cuerpo y su cerebro en el que nada es permanente e inmutable. Consecuente a ello la aparente identidad del ser humano, su propio yo, cambia con el tiempo. De hecho, la identidad del ser humano es un espejismo creado por su propio cerebro.

El hombre es tan diverso como su cerebro. Por eso cada ser humano es un universo irrepetible que se construye en referencia inmediata a su cultura y al marco social que lo envuelve. La variabilidad de esta referencia cultural es tan grande, como grande y varia es la conducta de cada individuo a lo largo de su propia vida. No hay, pues, dos individuos humanos idénticos. ¿Acaso no extraemos nuestras ideas acerca de lo que el ser humano es de un abstracto que no se ajusta a ningún ser humano concreto?

¿Qué nos hace humanos? Sin duda nuestro cerebro, ese poderoso órgano con más de 10.000 millones de «extraneuronas» dedicadas a procesar información más allá de lo perceptivo (sensorial) o motor y al que nuestro genoma dedica más del 50% de su estructura y función. Y con él, con nuestro cerebro, el lenguaje, los sentimientos, los procesos mentales y la cultura y la conciencia (tanto del mundo como de nosotros mismos, lo que incluye el inexorable conocimiento de nuestra finitud y muerte). Lo humano, por tanto, no es algo inmanente, indeleble, más allá de lo temporal y contingente. Por el contrario, lo humano, está inmerso en la más pura contingencia. Lo humano se ha hecho y se sigue construyendo en los avatares del hombre con el mundo y con los demás hombres.

Mirando hacia atrás

Nuestra humanidad no es algo aparecido de la nada, como no lo es nuestro cerebro, sino algo que tiene sus raíces en las formas biológicas que nos precedieron. Nuestra

humanidad ha aparecido en apenas el par de millones de años que nos separan de los australopitecinos. De hecho, los rudimentos de casi toda nuestra humanidad se pueden rastrear en los antropoides actuales, como son los chimpancés, los bonobos, los siamangs, los orangutanes, los gorilas y los pequeños gibones. El chimpancé, con sus 400 gramos de peso de cerebro y sus 3.500 millones de «extraneuronas» (véase capítulo 1), tiene una riquísima conducta que los estudios etológicos más actuales nos están poniendo de manifiesto. El cerebro del chimpancé tiene una morfología de su corteza cerebral muy similar a la del hombre, aun cuando claramente algunas áreas tienen un desarrollo muy pequeño y asimismo sus interconexiones neuronales. En particular, y ante una simple observación anatómica, es notorio el poco desarrollo de los polos frontales y parieto-temporales cuando éstos son comparados con sus homólogos de la corteza del cerebro humano.

Sin embargo, el chimpancé posee muchas características conductuales que son semejantes a las humanas. En particular, el chimpancé pigmeo o bonobo *(Pan paniscus)* muestra unas capacidades intelectivas nunca sospechadas en ningún animal. Por ejemplo, las capacidades de comunicación no verbal de estos animales muestran muy a las claras su semejanza psicológico-conductual con el hombre. Donald R. Griffin en su libro *Animal Minds* describe de modo muy asequible y con total documentación estas características de los chimpancés en cuanto a su capacidad de pensar, de comunicación simbólica y conceptual, de construcción de artefactos, del significado de la conciencia y de la propia autoconciencia. En definitiva, de todo ese mundo mental de los chimpancés que tanto se aproxima al de los humanos. De los estudios y las descripciones conductuales del chimpancé bonobo se han obtenido evidencias espectaculares acerca de la flexibilidad de su conducta y capacidad de elección.

¿Quién no recuerda los experimentos de Köhler sobre la percepción y el aprendizaje en chimpancés en su colonia de primates de Tenerife? Recordemos a *Sultán*, el chimpancé capaz de acoplar dos pedazos de caña con la finalidad de construir una caña más larga y alcanzar así las bananas colgadas del techo de su jaula. O las capacidades de cooperación de los chimpancés para apilar unas cajas que permitieran construir una torre y subidos a ella alcanzar de este modo la rama de bananas colgadas del techo. O el espectacular proceso de transferencia de conocimientos que los chimpancés establecen de adultos a jóvenes para enseñarles pacientemente cómo cazar hormigas y termitas utilizando instrumentos.

Los avances más destacados en cuanto a conocer las capacidades psicológicas de los chimpancés vienen de los experimentos iniciales de los esposos Gardner de la Universidad de Nevada, en Estados Unidos. Efectivamente, los logros obtenidos con el famoso chimpancé *Washoe* fueron extraordinarios, ya que permitieron la comunicación entre él y sus cuidadores a través del lenguaje de los Signos Americanos. *Washoe*, en tres años, aprendió y utilizó correctamente 85 signos. Hay que recordar que los chimpancés no poseen la capacidad anatómica en el aparato de fonación laríngeo para vocalizar. Ni

tampoco, aun cuando se discute, parece existir en la corteza cerebral del chimpancé ningún esbozo de área de Broca para el lenguaje como sucede en la corteza cerebral humana.

En cualquier caso, el problema básico sobre el lenguaje en el chimpancé, discutido ampliamente en la literatura científica, es el de su capacidad para crear una estructura sintáctica del mismo. Es decir, la unión de palabras, acorde a ciertas reglas gramaticales, que permita la creación de nuevos significados no expresados por las propias palabras. Por ejemplo, utilizando las mismas palabras, no quiere decir lo mismo «Pedro golpea a la pelota» que «La pelota golpea a Pedro». De este modo señala Griffin:

> Tales reglas gramaticales o sintácticas son tan importantes en hacer posible la riqueza y versatilidad del lenguaje que muchos lingüistas y pensadores sostienen que la sintaxis es el *sine qua non* del lenguaje y que el uso solo de palabras o sus equivalentes no son suficientes para cualificar de verdadero lenguaje a quien las use. Esta visión por supuesto entraña la negación del lenguaje a los niños pequeños con vocabularios de sólo unas pocas palabras.

Precisamente, recordemos que el chimpancé, en cuanto a su psicología global alcanza, cuando adulto, la capacidad mental de un niño de dos años. Chomsky llega más lejos al señalar que ningún animal es capaz de utilizar nada equivalente a las palabras y niega que los signos utilizados por los antropoides para comunicarse con los humanos, contengan las propiedades esenciales de las palabras. De cualquier manera, los estudios sobre los chimpancés y en particular sobre los bonobos acerca de sus capacidades para el lenguaje, sus relaciones (entre chimpancés y humanos), y su mundo emocional diluyen claramente las barreras entre ser humano y animal (De Wall, 1996; Whiten, 1999; Vogel, 1999; Pennigi, 1999).

Ser los otros

Se ha señalado recientemente que quizá la característica humana derivada de la autoconciencia que más completamente nos distingue de los antropoides sea nuestra capacidad para aproximarnos a los otros seres humanos y llegar a comprenderlos. No tanto aproximarnos, como intentar imaginarnos cómo es el otro, intentar «ser» el otro, «ponernos en su lugar». Para algunos pensadores esta capacidad como tal no tiene trazas en los antropoides. Ello ha llevado, precisamente, a preguntarse cuáles son los procesos cognoscitivos que subyacen a estas capacidades «genuinamente» humanas.

Hay muchas más características (aparte las ya mencionadas) que nos definen como humanos, por ejemplo nuestra capacidad, frente a la aparente incapacidad de los antropoides, de reconocer la existencia de nuestros propios procesos mentales y también la capacidad, en cuanto a flexibilidad y repertorio, para actuar ante diferentes situaciones

o perspectivas. Con todo, yo pienso que la característica más distintiva del ser humano está en los sentimientos y la conducta moral, y con ello, de nuevo, volvemos a encontrarnos con nuestros parientes los chimpancés.

En la autoestima del hombre, tomada ésta como patrón básico de su realización personal, hay una escala de valores. El hombre se realiza, se hace a sí mismo, alcanzando logros de bienestar a través de normas éticas que él mismo ha ido creando con el tiempo. Muy pocos desafiarían la idea de que estas normas son los pilares que sostienen la convivencia pacífica y civilizada del hombre con los demás hombres. Y a poco que pensemos en ello veremos que estas normas, estos valores morales, tienen su asiento último en los mecanismos más primitivos de nuestro cerebro: los mecanismos de las emociones. ¿Qué quiere decir si no, hoy «siento» la satisfacción del trabajo bien hecho?, ¿qué significado tiene la alegría y profunda satisfacción por el éxito intelectual, deportivo, social en definitiva, de un hijo o, para el caso, la exaltación patriótica?, ¿qué es todo ello sino una expresión emocional, un sentimiento?

Precisamente es difícil concebir al ser humano sin emociones ni sentimientos. Es más, yo diría que es imposible, porque emociones y sentimientos son ingredientes intrínsecos a cualquier análisis de su naturaleza. Nadie dudaría que «emocionarse», «sentir» algo, es casi consustancial con decir «humano». Precisamente, la connotación de «inhumano» o «no-humano» se da en todas aquellas conductas llamemos «frías» que, al menos aparentemente, están alejadas del mundo de las emociones y los sentimientos.

Y en cuanto a la estricta conducta moral, aquella que claramente expresa la distinción entre lo que es correcto y lo que no lo es, ¿acaso en los antropoides no existen los rudimentos de una conducta que distingue entre lo correcto y lo incorrecto aprendido con ciertas reglas entre las que se incluye el castigo y la recompensa?, ¿y acaso esas reglas, a su vez, no son en parte el fundamento de estas mismas conductas humanas aprendidas cuando niños? Sin duda que nuestra conducta moral, anclada en sus raíces biológicas, se puede rastrear en los antropoides. Señala Ayala:

> La pregunta de si el comportamiento ético está determinado por nuestra naturaleza biológica ha de ser respondido afirmativamente..., ya que su constitución biológica determina la presencia de tres condiciones:
>
> 1. La capacidad de anticipar las consecuencias de las acciones propias.
> 2. La capacidad de hacer juicios de valor.
> 3. La capacidad de escoger entre líneas de acción alternativas.

Todo ello nos lleva de nuevo a pensar que, adecuadamente rastreadas, casi todas las conductas humanas tienen unos pilares biológicos muy similares a los que sustentan la conducta de los antropoides. La cuestión está en saber si la separación entre el mundo sentimental y moral humano es tal que lo hace total y absolutamente distintivo de los animales. Muchos piensan que no (Griffin, 1992; Hauser, 2000; Tomasello, 2000).

Ciencia y cultura

Sea o no ello así, repitámoslo una vez más, características como son nuestra enorme capacidad de tener múltiples perspectivas de un solo problema; de ser capaces de ver las cosas desde un punto de vista que se acerque a la perspectiva del otro y se distancie de la propia; de la enorme capacidad de empatía del ser humano y de la comunicación simbólica con otros seres humanos (emoción y lenguaje), incluso con cosas y otros animales; de ver y participar y transformar un mundo en marcha y vernos a nosotros como una pieza del mismo (ciencia y cultura); el tener un comportamiento ético genuinamente humano, el trascender en nuestras mentes a nuestra propia biología con un sentimiento de religiosidad que incluso puede determinar toda nuestra concepción del mundo, definitivamente conforma un cuerpo de evidencia que nos define como humanos frente a cualquier otro ser vivo, al menos aquí, en nuestro planeta.

Que todo cuanto acabamos de decir tiene un correlato en nuestro cerebro empezamos a verlo con los estudios de la Neurobiología, Neuropsicología y la nueva Neurociencia Cognoscitiva. Hoy ya sabemos, por ejemplo, que hay áreas como la corteza prefrontal izquierda y la corteza parietal derecha que albergan circuitos que participan en la elaboración de estas conductas que acabamos de mencionar como más genuinamente humanas. No es extraño. Son las áreas del cerebro que mayor expansión han sufrido durante el proceso evolutivo del cerebro.

Mirando hacia arriba

Por último, yo pienso que lo que distingue genuinamente al hombre se encuentra en su visión del mundo a través del tamiz religioso. Wilson señala:

> La predisposición a la creencia religiosa es la fuerza más compleja y poderosa en la mente humana y con toda probabilidad una parte irradicable de su naturaleza.

Si ello es así, los códigos de tal conducta deben estar en los entresijos de nuestro cerebro y, por tanto, deben tener unos fundamentos naturales. Precisamente, estudios cognoscitivos recientes nos adentran en la idea de que los mecanismos por los que se adquieren, mantienen y transmiten los conceptos y las ideas religiosas no difieren de los mecanismos que utiliza el cerebro normalmente para adquirir cualquier otro tipo de conocimiento. Ello ha llevado a explorar con más y más intensidad los fundamentos naturales de la religión. Este campo de investigación es relativamente nuevo y la especialidad de estos estudiosos incluye no sólo teólogos, sino antropólogos, filósofos y psicólogos y más recientemente neurocientíficos (Barrett, 2000).

¿Posee nuestro cerebro una predisposición genética, adquirida a lo largo de los últimos 2-4 millones de años por la que una determinada información de nuestro medio ambiente

(cultura) activa circuitos neurales estrechamente vinculados a la concepción religiosa? A este respecto es interesante un estudio reciente realizado tanto en gemelos univitelinos (misma carga genética) como en gemelos con distinta carga genética, que sugiere que los factores genéticos cuentan con un 50% para poder explicar la variación de las actitudes e intereses religiosos entre individuos. Junto a esta disposición, heredada, está la universalidad transcultural de la experiencia religiosa, lo que claramente habla de la existencia de unas bases biológicas cerebrales (Waller, 1990).

Ya en el capítulo 4 hablamos de los substratos neuronales de la experiencia religiosa. Baste volver a recordar aquí el componente fundamental que representa el mundo de la emoción y los sentimientos. Precisamente se ha sugerido, en una hipótesis reciente, que los substratos primarios cerebrales de toda experiencia religiosa residen en el sistema límbico o sistema emocional (Saber y Rabin, 1997). Esta hipótesis tiene en parte el interés de ofertar una línea de trabajo que dé cuenta de todos aquellos aspectos que hasta ahora han sido considerados o evaluados como sobrenaturales y nos permita volver a «atarlos» a sus raíces biológicas.

Es de esta manera, que los contenidos perceptuales y cognoscitivos de las experiencias místicas y numinosas comentados en el capítulo 4, son en su base similares a aquellas de la experiencia ordinaria o normal, a excepción de que la actividad de los sistemas neuronales límbicos les imprimen una etiqueta profunda de emoción o encendido y por ende de exaltación gozosa que lleva a la percepción de la universalidad o, si se quiere, de ese sentimiento de «unión con el todo». Esto nos ayudaría a entender cómo estas emociones que impregnan percepciones y cognición puedan ser experimentadas por el sujeto y no ser fácilmente descriptibles, sólo siendo posible su descripción en términos literarios de inefabilidad.

Cuanto acabo de señalar es un camino de estudio actual que se realiza en seres humanos e investiga, con las nuevas técnicas de imaginería cerebral, la actividad neuronal espontánea o provocada del sistema límbico en el contexto de la experiencia religiosa. Esto, sin duda, nos permitirá dar el paso desde la pura psicología religiosa al conocimiento de los substratos neurobiológicos que la sustentan.

A mí no me cabe duda alguna de que la experiencia religiosa, cualquier concepción religiosa, como toda actividad o experiencia humana, sea ésta la creación de un nuevo teorema matemático, una nueva sinfonía o un excelso juicio moral, tiene su asiento en el funcionamiento del cerebro. Y, de nuevo hay que volver a poner de manifiesto que ello no elimina, reduce o desacredita el significado «espiritual» que yo llamaría humano, de todo lo relacionado con la religión, ni nos aleja de una concepción de Dios. Antes al contrario, todo ello nos puede y nos debe llevar a la búsqueda de nuevas respuestas. Precisamente, si algo es incontrovertiblemente humano y define la excelsitud de la condición humana es la búsqueda de la verdad, cualquiera que esta sea y se encuentre donde se encuentre. El hombre deshace entuertos y errores en ese proceso de mostrar lo equivocado de nuestras conjeturas e hipótesis previas. Y es con este método como

progresamos en una búsqueda posiblemente sin final porque el hombre siempre trabaja con verdades provisionales.

CAPÍTULO 10

Y MÁS ALLÁ

> La naturaleza humana es un concepto universal y complejo. Creo que hay razones para pensar que la mente está equipada con una batería de emociones, deseos, y capacidades para razonar y comunicarse que han sido modeladas por la selección natural a través del curso de la evolución humana y que deben parte de su diseño básico a la información que viene del genoma.
>
> STEVEN PINKER. *The Blank Slate.*

De todo lo expresado en los capítulos precedentes parece evidente que la Neurociencia actual, y desde luego las reflexiones filosóficas que se infieren de sus logros, lleva una dirección que nos conduce por el camino más seguro a un mayor conocimiento del ser humano. Conocimiento que se encuentra en constante revisión, es cierto, pero que nos permite ya atisbar el principio de cambios importantes no sólo en la concepción de nosotros mismos, sino también de la sociedad en que nos tocará vivir en el futuro. Lo cierto es que se ha alcanzando un cuadro teórico en el que, como en un puzle, se han ido, y se están introduciendo las piezas con las que, en el cerebro, se construye el mundo personal, el de uno mismo, y también las que constituyen las sociedades en las que se vive, y los valores y normas con los que orientan las conductas. Esto quiere decir la emoción y los sentimientos, la toma de decisiones, el razonamiento (abstracción, conocimiento, creatividad), el pensamiento moral y ético, así como el arte y la religión.

A todo lo anterior se une la preocupación más reciente acerca de los posibles códigos innatos que el cerebro humano trae al nacimiento. ¿Existen ya, al nacimiento, redes neuronales asociativas ensambladas (códigos) que preparan al ser humano para adquirir y procesar la información sensorial que recibe del medio ambiente en una dirección determinada? Y más específicamente, ¿existe un pre-cableado en el cerebro para elaborar y construir la realidad humana que le rodea, sentimientos, cognición e ideas y lenguaje?

La idea de que haya formas o códigos innatos para la cognición ha recibido una buena cantidad de apoyos en años recientes aunque también haya suscitado una considerable controversia. El origen de esta controversia se podría trazar quizá en John Locke (1632-1704), quien en su descripción de la famosa tábula rasa ya señalaba la no existencia de ideas innatas en la mente humana, particularmente de aquellas referidas a los juicios morales. Para Locke el cerebro recibe y maneja la información sensorial que le llega, pero, al nacimiento, carece de cualquier memoria innata capaz de elaborar las ideas. La tábula rasa cerebral permaneció como idea atractiva y poderosa durante mucho tiempo. Hoy, sin embargo, la Neurociencia cuestiona muy seriamente este pensamiento, no desde luego afirmando que el cerebro venga al nacimiento con abstractos o ideas innatas concretas y específicas, pero sí señalar que trae unas plantillas, moldes o redes

neuronales que son especie-específicas y que permitirán el rápido aprendizaje de los principales procesos que determinan la cognición humana.

De hecho, ya sabemos que el cerebro, cualquier cerebro, posee un programa genético con el que construye su biología. Y también que ese cerebro ya trae al nacimiento un diseño general ensamblado (programas neuronales) que permite al individuo «interpretar» los estímulos sensoriales que recibe (visión, audición, etc.) y transformarlos en cambios específicos de las neuronas y sus circuitos. Y también pre-programas motores (realización de movimientos). Estos mecanismos y procesos los tienen todos los seres vivos. Pero también es cierto que cada especie viene al mundo con un diseño específico propio de ella. Muchos hemos visto como, por ejemplo, las crías recién nacidas de caballos u otros animales se levantan casi inmediatamente tras el parto y como, además, en muy poco tiempo son capaces de correr junto a sus madres. Quiere ello decir que estos animales ya traen en sus cerebros, al nacimiento, códigos que ponen en marcha, y con una rapidez increíble, el procesamiento sensorial y motor que les hace capaces de interactuar rápidamente con el mundo.

Es obvio que la realidad del ser humano, inmediatamente después del nacimiento, es completamente diferente, pues los seres humanos nacen desvalidos e incapaces tanto para funciones sensoriales como motoras y, desde luego, cognitivas. Pero no es menos cierto que el ser humano también trae al nacimiento sus propios códigos de especie. Códigos de especie que, cada vez está más claro, son derivados de aquellos otros que poseen sus predecesores los homínidos y antes de ellos los antropoides. Somos, sin duda, producto sucesivo de todo ese proceso desconocido que llamamos evolución. Y así se piensa hoy que también el cerebro humano viene al mundo con alforjas conteniendo esos moldes en donde se va a escribir la información sensorial que se recibe, o con los que se crean los conceptos y abstractos con los que se alcanza el pensamiento y el conocimiento. Difícilmente se puede encontrar hoy ningún científico o neurocientífico que defienda la idea de que el cerebro humano es una «tábula rasa», o que funciona como una esponja y que absorbe, sin ningún sustrato previo, organizado, el conocimiento del mundo que le rodea. Señala Pinker: «la complejidad del cerebro tiene que venir de alguna parte. No puede venir sólo del medio ambiente porque sólo el hecho de tener un cerebro es ya indicativo de poseer un mecanismo a través del cual se alcanzan ciertas metas y el medio ambiente no tiene ni idea de cuáles son esas metas».

Y es, a través de la Neurociencia, como indicaba al principio de este capítulo, que se comienzan a descubrir algunos de los ingredientes de esos códigos que el cerebro humano trae al nacimiento. Hay hipótesis que sugieren que se nace con redes neurales ya organizadas a través de conexiones sinápticas muy específicas que pueden ser de varios tipos y con características posiblemente especiales. Recientemente ha sido propuesta la existencia de redes fijas y férreamente controladas por dictados genéticos y que se mantendrían como tales toda la vida. Estas redes tendrían como función mantener la supervivencia del individuo y de la especie, un buen ejemplo sería la ingesta de agua o

alimentos y la agresión e incluso los sonidos emitidos por los recién nacidos. Otras redes, que aun cuando no tan fijas y férreas como las anteriores, permitirían la adquisición, inmediatamente tras el nacimiento, de aprendizajes y memorias que quedan también fijos y que persisten a lo largo de toda la vida. Serían la base de los sustratos del fenómeno, por ejemplo, de *imprinting*, más claramente demostrado en las aves.

Y es ahora cuando algunas de estas conductas innatas, al menos en invertebrados, permiten estudiar los sustratos genéticos que son su base neuronal y molecular. De hecho, una de las metas actuales de la Neurociencia es entender, en sus detalles moleculares, cómo están construidas estas redes neuronales y cómo funcionan y son la base de las sensaciones y percepciones que permiten desarrollar conductas específicas. De modo muy reciente, por ejemplo, se ha demostrado en la mosca que la expresión macho-específica del factor de transcripción *fruit-less* (la proteína Fru-M-) en algunas neuronas es necesaria y suficiente para conferir la potencialidad de desarrollar la conducta específica de cortejo. Esta conducta sólo se expresa en el macho sin experiencia previa; es decir, en machos que no han sido expuestos con antelación a la visión de este tipo de conducta en otros machos. Es claramente una conducta innata aun cuando también sea, con posterioridad, modificable por la práctica y la experiencia. Hoy día se sabe además que las neuronas que expresan Fru-M- conforman un circuito específico dedicado a la conducta sexual. Tan determinante es la expresión de Fru-M- que introducida artificialmente en la mosca hembra lleva a ésta a desarrollar la conducta específica de cortejo que, en condiciones normales, sólo la desarrollan los machos. Estos trabajos muestran, por primera vez, que una conducta innata es expresión de una red neural genéticamente programada.

Hay además redes neurales que aun cuando determinadas genéticamente poseen la capacidad innata de responder y cambiar en función de las condiciones variables del medio ambiente. Un ejemplo de tales tipos de redes sería el lenguaje. Chomsky (1965) ya describió inicialmente que nuestro sistema lingüístico contiene una complejidad sistemática que no puede derivarse del medio ambiente. De acuerdo con Chomsky, el medio ambiente es muy variable e indeterminado, para explicar la extraordinaria habilidad de aprender conceptos complejos que tienen los niños muy pequeños. De lo que se sigue que los niños deben nacer con una gramática innata, que viene programada con un diseño de propósito altamente organizado, pues los capacita para aprender una determinada lengua desde muy temprano. La teoría de la gramática universal, de hecho, postula la existencia de principios o aspectos básicos neurales compartidos por todos los seres humanos al nacimiento. Chomsky cita como prueba para su teoría la aparente invariabilidad de las lenguas a cierto nivel de análisis fundamental. Lo cierto es que el lenguaje ha servido para aceptar la existencia de redes neurales asociativas específicas para el lenguaje.

Y junto a ello redes innatas para la abstracción, base del conocimiento y que, como el lenguaje, operan temprano en el niño. Hoy algunos estudiosos de las ciencias cognitivas,

llamados conexionistas, sugieren la idea de que no existen redes con funciones específicas al nacimiento, ya sean para el lenguaje, la abstracción o el razonamiento en general, sino que redes neuronales no específicas, gracias a códigos intrínsecos, puedan dar cuenta de todas las capacidades cognitivas humanas. Frente a ellos, otros conexionistas sugieren que para funciones como el lenguaje o la abstracción, se requiere de la organización innata de redes neuronales de asociación específicas. En cualquier caso, sea de una u otra forma, hoy también se sospecha que hay además redes neuronales verdaderamente plásticas y cambiantes que permiten al individuo, tras los procesos de aprendizaje y memoria, adaptarse en cada momento a su medio ambiente y social. Estas últimas serían la base de los procesos mentales que permitirían grabar y borrar sus contenidos constantemente. Son redes que codifican para funciones que requieren de la interacción continuada con un medio ambiente específico gracias al cual se adquieren las características psicológicas propiamente humanas.

Pero hay más tipos de redes. Posiblemente redes innatas que permiten el reconocimiento de caras o simetrías en los objetos que vemos. O aquellas otras con las que se construyen ciertas percepciones a través de unir, como en un puzle, las sensaciones producidas por distintos colores y formas en el campo visual. En definitiva, y aun cuando todavía especulativo, todo parece apuntar hacia la idea de que el cerebro humano ya viene equipado con disposiciones cognitivas que se inician y desarrollan por el medio ambiente, pero que no son producidas por él. Estas ideas llevan a muchos científicos a pensar que si efectivamente la mente humana ya viene equipada con contenidos, muchos de los cuales son consecuencia de la selección natural, ello requeriría de una revisión, en el sentido darwinista, de toda la Psicología, la Sociología y, desde luego, la misma Neurociencia.

Parece evidente que una maquinaria que tenga propósitos útiles ya ensamblados al nacer provee a quienes los poseen de una ventaja evolutiva clara frente a quienes no tuvieran estos sustratos neuronales. Sin duda que la conexión de estas redes neuronales fue consecuencia del aumento progresivo del cerebro y del número de sus neuronas en los homínidos como consecuencia de las presiones selectivas que sufrieron. En cualquier caso, los contenidos innatos de estas redes permiten a sus poseedores realizar operaciones lógicas cuyos productos finales en el hombre de hoy son el lenguaje, la música y las matemáticas, y también, posiblemente, la elaboración de los juicios sobre estética o valores éticos. Precisamente se ha especulado que estos últimos se basan en la existencia de redes neurales asociativas, asimismo innatas, moduladas por el medio ambiente y distribuidas por las diferentes áreas de la corteza cerebral, entre ellas la corteza prefrontal (dorsolateral y sectores lateral y medial de la corteza orbitofrontal) y también la corteza cingulada anterior, la región sulcal de la corteza temporal superior y el mismo tronco del encéfalo con el origen de los sistemas de monoaminas (los neurotransmisores dopamina, noradrenalina, serotonina y acetilcolina) con los que «despiertan y alertan» y modulan la actividad de cada circuito específico de la corteza

cerebral. De todas las áreas citadas destaca la corteza prefrontal, que engloba, a su vez, a muchas otras áreas que son base de circuitos neuronales claves en las elaboración de conductas que tienen que ver sobre todo con las interacciones sociales, la creación y clasificación de valores, la relaciones estímulo-refuerzo, la planificación del futuro o la secuencia de razonamientos acordes a un plan o logro inmediato o futuro y también depósito de situaciones anteriores vividas y experiencias emocionales.

Y es así que el medio ambiente, familiar y social, escribe en esas redes o tablillas de cera múltiple y diferente los mensajes múltiples y diferentes. Y es de la interacción entre cada tablilla del cerebro, cuyas características específicas sólo permiten ciertas escrituras, y las escrituras mismas hechas por el medio ambiente, que cada ser humano concreto se construye y hace a sí mismo. Y no sólo para la construcción de sí mismo sirven estos códigos, sino muy posiblemente también para la construcción de ese mundo fuera de él, el que ve o toca. Como señaló Varela, «el mundo es el modelo del medio ambiente construido por el organismo». O el mismo Ortega y Gasset cuando señaló que «el pensamiento humano no descubre el Universo, sino que lo construye».

Todo parece indicar que el hombre de hoy sigue utilizando los mismos códigos de funcionamiento del cerebro que el hombre de hace 100.000 años tras su última remodelación, aun cuando en contextos sociales diferentes y con resultados y valores claramente distintos. Desentrañar el sentido de ese funcionamiento «diferente» tratando de explicar nuestras conductas actuales y cómo concebimos el mundo y la relación con los demás, conllevará una renovación de nuestro mundo social, cosa que acaecerá posiblemente en un futuro no muy lejano. Renovación que tal vez dé lugar a una concepción nueva y diferente de quiénes somos los seres humanos. Será la Neurociencia, y no desde luego una nueva concepción de lo sobrenatural, la que proveerá de luz que ilumine los fenómenos y aporte soluciones e incluso indique cómo prevenirlos, con herramientas esta vez mucho más eficaces que con cualquier otra concepción humanística alumbrada hasta ahora. Posiblemente con la Ciencia se alcance un mundo en el que se reconozca, de forma definitiva, que el valor supremo a respetar sea la supervivencia en armonía con los demás y en donde no haya más verdadera religión que aquélla inspirada en el credo de la ayuda al otro por el otro mismo.

Tras esta perspectiva evolutiva y con nuestros conocimientos actuales sobre lo que somos, basados en los códigos de funcionamiento del cerebro, termino haciéndome las mismas preguntas que hacía en mi libro más reciente, *Neurocultura:* ¿Hacia dónde va, pues, la humanidad? Si la Neurociencia, la Neurociencia cognitiva, nos lleva como parece al reconocimiento de nuestra total biología y a nuestra total orfandad de un más allá y se pierde ese calor creado por el hombre, y que hemos convenido en llamar Dios, ¿hacia dónde vamos a mirar ahora? ¿Debe quedar todo en seguir adelante, desierto tras desierto, y solo encontrar sentido en pasar el testigo los unos a los otros? ¿O resignarnos, a vivir sin absolutos universales, y en la felicidad efímera de nuestra propia humanidad? Posiblemente sí, pero no lo sé. En cualquier caso, estoy convencido de que la luz que

provee el conocimiento de nuestro propio cerebro puede iluminar, cada vez más, las sombras de nuestra humanidad.

GLOSARIO

Para una ampliación de este glosario remito al lector a la consulta del *Diccionario de Neurociencia*, F. Mora y A. M. Sanguinetti, Alianza Editorial, Madrid, 2004.

Ácido desoxirribonucleico, ADN Es el soporte material de la herencia. Está compuesto por cadenas de desoxirribonucleótidos (la pentosa es la 2-deoxy-D-ribosa) y las bases nitrogenadas de adenina, guanina, citosina y tiamina unidas covalentemente. Los nucleótidos están unidos por puentes de fosfato entre el grupo I-hidroxilo de unos de los nucleótidos y el grupo 3-hidroxilo del siguiente. Dos cadenas complementarias de ADN se entrelazan en doble hélice. Los genes están formados por segmentos de ADN.

Ácido ribonucleico, ARN Está compuesto por cadenas de ribonucleótidos (la ribosa es la D-ribosa) y las bases nitrogenadas (adenina, guanina, citosina y uracilo) de igual unión a las del ADN. Hay tres tipos principales de ARN: El ARN mensajero (ARNM), el ARN ribosómico (ARNR) y el ARN de transferencia (ARNT).

Adolescencia Periodo que transcurre entre los 14 y 18 años de edad, clave en el desarrollo del cerebro emocional y en el que se suceden los grandes cambios biológicos, hormonales y psicológicos que conocemos como pubertad. Es este un periodo en el que se continúa la remodelación de la corteza cerebral (áreas de asociación).

Agnosia Incapacidad o pérdida de la facultad de reconocer cosas o personas. Puede ser total o parcial y puede referir a cada uno de los sentidos. Existen por tanto agnosias visuales, táctiles, etc., y en ellas de muchos tipos dependiendo de la localización del daño o lesión cerebral. Las agnosias pueden ser muy específicas y referir no sólo a los sentidos, sino a la ideación o simbolismo (agnosia ideacional), la emoción o a la posición o localización de los objetos.

Agresión Cualquier acto físico o amenaza de acción por un individuo que reduce la libertad o posibilidad de supervivencia (social o física) de otro. La estimulación eléctrica o las lesiones físicas o químicas de muchas partes del cerebro (hipotálamo, amígdala, sustancia gris periacueductal, entre otras) pueden provocar agresividad o convertir un animal dócil en agresivo.

Amígdala Estructura cerebral en forma de almendra formada por un conjunto de núcleos de características histológicas diferentes. Está situada en el seno del lóbulo temporal. Forma parte, junto al hipotálamo, septum, hipocampo y otras estructuras del sistema límbico, de los circuitos que participan en la elaboración de la emoción y motivación y en el control del sistema nervioso autónomo o vegetativo.

Apoptosis En Neurociencia este concepto es aplicado a la muerte neuronal programada genéticamente en contraste con la necrosis celular consecuente a causas patológicas o accidentales. Se trata del proceso por el cual ocurre una condensación de la cromatina y degradación del ADN que precede a la destrucción de la membrana plasmática.

Aprendizaje Proceso que realiza un organismo con la experiencia y con el que se modifica su conducta. Está íntimamente asociado a los procesos de memoria. Conlleva cambios plásticos en el cerebro que hoy se creen relacionados con la actividad sináptica.

Área cerebral Región del cerebro determinada por sus características anatómicas (lugar), histológicas, funcionales u otras.

Área cortical Superficie delimitada de la corteza cerebral tipificada por sus características histológicas y (no siempre) por su función. Se distinguen las áreas corticales sensoriales, motoras y de asociación. Brodmann sobre una base anatómica e histológica (citoarquitectura) distinguió la corteza cerebral humana en 11 áreas principales y 52 áreas menores.

Áreas visuales de la corteza cerebral Sobre la base de estudios funcionales y de conexiones, las áreas visuales de la corteza cerebral han sido subdivididas en más de 25 áreas diferentes, las principales incluyen:

V1 = Área visual estriada primaria (se corresponde con el área 17 de Brodmann).
V2 = Área visual situada alrededor de la V1 de la que recibe información.
V3 = Área visual que recibe información de la V2 y proyecta a su vez a la V4 y V5.
V4 = Área visual situada entre los bordes de la corteza temporal, occipital y parietal.
V5 o MT (Medial Temporal) = Área visual situada en la corteza temporal medial.
MST (Medial Superior Temporal) = Situada en el lóbulo temporal en su parte medial y superior.

Autoconsciencia Estado en el hombre que le permite reconocimiento del yo y su pensamiento. Los mecanismos cerebrales que permiten la autoconciencia son desconocidos.

Brodmann, áreas de Mapa de áreas de la corteza cerebral, descritas por Brodmann en 1909. En base al patrón citoarquitectural la corteza queda dividida en 11 regiones principales y 52 áreas menores, cada una con su nombre. Dichas áreas fueron numeradas por Brodmann según el orden en el que sucesivamente las fue estudiando. Estas áreas no se corresponden con funciones específicas y además áreas diferentes comparten igual función. Las 52 áreas menores son las siguientes:

1. Área intermedia poscentral. Corteza somatosensorial.
2. Área caudal poscentral. Corteza somatosensorial.
3. Área rostral poscentral. Corteza somatosensorial.
4. Área gigantopiramidal. Corteza motora.
5. Área preparietal.
6. Área frontal agranular. Corteza premotora.

7. Área parietal superior.
8. Área frontal intermedia.
9. Área frontal granular.
10. Área frontopolar.
11. Área prefrontal. Corteza límbica.
12. Área frontal microcelular.
13. Ínsula posterior.
14. Ínsula anterior.
15. Ínsula ventral.
16. Ínsula olfatoria.
17. Área estriada. Corteza visual primaria.
18. Área occipital. Corteza visual secundaria
19. Área preoccipital.
20. Área temporal inferior. Corteza visual inferotemporal.
21. Área temporal media. Corteza visual inferotemporal.
22. Área temporal superior. Corteza auditiva.
23. Área cingular ventral posterior. Corteza límbica.
24. Área cingular ventral anterior. Corteza límbica.
25. Área subgenual.
26. Área ectosplenialis.
27. Área presubicularis.
28. Área entorinal. Corteza límbica.
29. Área retrolímbica granular.
30. Área retrolímbica agranular.
31. Área cingular dorsal posterior.
32. Área cingular dorsal anterior.
33. Área pregnual, *tenia tecti*.
34. Área entorinal dorsal.
35. Área peririnal.
36. Área ectorinal.
37. Área occipitotemporal.
38. Área temporopolar. Corteza límbica.
39. Área angular.
40. Área supramarginal.
41. Área auditoria. Corteza auditiva.
42. Área para-auditoria. Corteza auditiva.
43. Área subcentral.
44. Área opercular.
45. Área triangular.
46. Área frontal media.
47. Área orbital.
48. Área postsubicular.

49. Área parasubicular.
50. Área gustatoria.
51. Área piriforme.
52. Área parainsular.

Cartografía cerebral Técnica que permite registrar y medir Los campos eléctricos del cerebro en forma de potenciales. Se realiza a través de electrodos de registro situados en el cráneo y mediante técnicas de computación que determinan los tiempos de actividad neuronal de distintas áreas del cerebro y su secuencia al pasar tal actividad de un área a otra en relación a la actividad mental concreta que se le impone o que realiza el individuo. Permite trazar una perspectiva funcional en cuanto a la relación temporal que existe entre las diferentes áreas del cerebro que participan en la elaboración de un determinado proceso mental.

Células gliales Células no neurales que se encuentran tanto en el Sistema Nervioso Central como en el Sistema Nervioso Periférico. En el Sistema Nervioso Central de los vertebrados se hallan en un número 10 a 50 veces superior a las neuronas. Son células generalmente pequeñas, localizadas entre los cuerpos neuronales y entre los axones y no generan señales eléctricas activas como las neuronas. En general se subdividen en dos grupos: la macroglía (astrocitos, oligodendrocitos y células ependimarias) y la microglía. En el Sistema Nervioso Periférico, la glía la constituyen las células de Schwann.

Cerebro Actualmente es un término no claramente definido y consensuado. En general refiere a toda aquella parte del SNC que está contenida en la caja craneana, excluido el tronco del encéfalo (mesencéfalo, puente y bulbo) y el cerebelo.

Cerebro-mente, problema Problema antiguo de la Filosofía que refiere a la naturaleza del cerebro y la mente. Las Neurociencias han entrado recientemente en esta polémica. *Véanse* Dualismo y Monismo.

Cilindro cortical Sinónimo de Columna Cortical.

Circuito Sistema electrónico por el que fluye una corriente eléctrica. En Neurofisiología se utilizan diferentes tipos de circuitos eléctricos para estímulo y registro de la actividad neuronal.

Circuitos neuronales Interconexión de neuronas locales en áreas concretas del cerebro o en sistemas distribuidos en diferentes áreas del cerebro que codifican para funciones específicas. Por ejemplo la corteza prefrontal, en particular la corteza órbito frontal, contiene circuitos neuronales en donde se realizan asociaciones del tipo estímulo-refuerzo y de desconexión de asociaciones previas, en ambos casos en relación con connotaciones emocionales. Ello provee a esta área del cerebro de la capacidad plástica de adaptarse a los cambios permanentes que se suceden en el mundo emocional del individuo.

Circuitos sinápticos Sinapsis que integran los circuitos locales en una parte bien definida del cerebro o de un ganglio. En invertebrados se pueden estudiar circuitos sinápticos en determinados ganglios articulando vías de entrada y salida a dichos circuitos.

Clones Agregado de células procedente, por sucesivas divisiones, de una célula madre inicial que puede dar lugar a una serie de individuos homogéneos en lo que respecta a su estructura genética.

Codificación En Neurobiología, y en general, refiere al mensaje en forma de patrones de descarga y frecuencias de potenciales de acción con los que se transfiere información de unas áreas a otras del Sistema Nervioso Central (SNC). En Neurofisiología sensorial refiere a la transformación por los receptores de un tipo de energía determinado (luz, sonido, mecánico) en frecuencia y patrón de descarga de las fibras nerviosas (mensaje codificado).

Código Serie de símbolos o reglas usados con significado específico y que conforman un sistema de comunicación.

Cognoscitivo, proceso Proceso mediante el cual se tiene conocimiento de un acontecimiento del mundo interno (personal) o externo (sensorial).

Columna cortical Unidad de funcionamiento de la corteza cerebral con entrada y salida de información básica. Se cree que realiza operaciones de procesamiento y distribución de información. Está compuesta de una serie de neuronas 110 aproximadamente (o 260 en la corteza estriada de los primates) muy interconectadas entre sí a lo largo del eje vertical de la corteza. Tiene un diámetro de 30 mm. La corteza cerebral humana contiene aproximadamente 600 millones de columnas.

Columnas de dominancia ocular Columnas de neuronas estructuradas en sentido vertical respecto a la superficie de la corteza. Son monoculares, es decir, están constituidas por neuronas cuyos campos receptivos están situados en uno u otro ojo. Se encuentran en el área visual primaria (V1) y su disposición en esta área es alternante (ojo derecho-ojo izquierdo). En los bordes de esta área 1 las columnas son binoculares, es decir, sus neuronas tienen campos receptivos en ambos ojos.

Columnas de orientación Columnas de neuronas estructuradas en sentido vertical respecto a la superficie de la corteza, que responden a un mismo estímulo en forma de barra de luz con una determinada orientación en su campo receptivo. Se encuentran en el área visual primaria (V1) y en parches de columnas cuyas neuronas responden con orientaciones del estímulo que van variando secuencialmente en grados, seguidos éstos de ciertas discontinuidades.

Comunicación neuronal Proceso de comunicación y transmisión de información entre neuronas utilizando un código determinado.

Conducta Cualquier suceso observable del organismo. Toda conducta es un puro acto motor desde la expresión verbal en el hombre a cualquier expresión física en el animal.

Conexionismo En computación refiere al tipo de redes artificiales cuyas conexiones asemejan a las teóricamente existentes entre las neuronas.

Convergencia Hecho mediante el cual una neurona recibe terminales sinápticas de muchas otras neuronas que convergen en ella. Este concepto tiene múltiples acepciones (visión, zoología, evolución, etc.).

Consciente Estado de un animal o persona que le permite el desarrollo de una conducta

de interacción coherente con el mundo externo. En el hombre, además, hay autoconsciencia.

Corteza cerebral Capa neuronal de la superficie externa cerebral del hombre y organismos superiores. En el hombre su superficie total es de unos 2.200 cm^2 y su espesor oscila entre 1,3 y 4,5 mm, con un volumen de 600 cm^3. El tejido cerebral del hombre contiene unas 3 ¥ 10^9 neuronas. Típicamente se diferencian seis capas, que existen en más del 90 % del total de la corteza. Estas capas, de superficie a profundidad son las siguientes: capa molecular o plexiforme, piramidal externa, granular externa, piramidal interna, granular interna y fusiforme. Filogenéticamente esta estructura de seis capas aparece en los mamíferos y se denomina neocorteza o isocorteza. Más antigua filogenéticamente es la Allocorteza, que posee una estructura de tres capas y al que pertenecen el archipallium, paleopallium y rinencéfalo.

Corteza cingulada *Véase* Giro cingulado.

Corteza de asociación Áreas de la corteza cerebral no directamente relacionadas en el procesamiento de información sensorial y motora primaria. Son áreas polisensoriales y multifuncionales.

Corteza prefrontal Corteza de asociación situada en la parte más rostral del lóbulo frontal. Su definición y límites neurofisiológicos vienen dados por las proyecciones del núcleo dorsomedial del tálamo. Se subdivide en diversas otras áreas: corteza prefrontal orbitaria y dorsal (en el primate) o medial dorsal y orbitaria (en la rata). Entre las muchas funciones en las que participa se encuentran el control del mundo emocional a través del sistema límbico, memoria operativa o funcional *(working memory)*, programación de actos a realizar en un inmediato futuro y función inhibitoria de influencias tanto externas como internas.

Corteza visual no estriada Corteza visual que por definición se encuentra fuera de la corteza visual primaria (V1) o estriada. Se corresponde principalmente con las áreas 18 y 19 de Brodmann. En ella se encuentran neuronas con múltiples y diferentes campos receptivos visuales. *Véase* Áreas visuales de la corteza cerebral.

Corteza visual primaria o estriada, V1 Corteza visual que corresponde con el área 17 de Brodmann y se caracteriza por las estriaciones visibles a simple vista que posee (Línea de Gennari). Recibe aferencias directas del núcleo geniculado lateral. Contiene neuronas cuyos campos receptivos responden a barras de luz (diferentes orientaciones) o puntos de luz de diferentes longitudes de onda. *Véase* Áreas visuales de la corteza cerebral.

Diencéfalo Parte del prosencéfalo. Lo constituyen la habénula, epitálamo, el tálamo, subtálamo y el hipotálamo.

Dislexia Trastorno caracterizado por un nivel para la lectura inferior al que corresponde al nivel de edad o intelectual del individuo que la padece y que no parece asociado a trastornos sensoriales ni a retraso mental. Hay distintos tipos: dislexia fonológica, dislexia semántica y dislexia visual.

Dolor La Asociación Internacional para el Estudio del Dolor lo define como una «experiencia sensorial y emocional displacentera, asociada a un daño tisular real o

potencial de causa interior o exterior». En contraste con el término dolor, el concepto nocicepción es puramente fisiológico.

Dualismo Teoría que refiere a la relación cerebro-mente y en la que se proclama la existencia separada de sucesos mentales con respecto a eventos cerebrales. Se puede distinguir entre dualismo sustancial (cerebro = materia, mente = espíritu), dualismo fenómenico (cerebro = único substrato, mente = fenómeno emergente y autónomo que puede actuar sobre la actividad del propio cerebro) y dualismo funcionalista (Psicología Cognitiva y los sistemas de cómputo simbólico).

Dualismo funcional Bajo este término hay varias concepciones de la relación cerebro-mente. Básico a todas ellas es la idea de que la mente, aun siendo un producto del cerebro, posee una serie de propiedades que la hacen diferente e irreductible a los procesos cerebrales.

Emoción Reacción conductual y subjetiva producida por una información proviniente del mundo externo o interno (memoria) del individuo. Se acompaña de fenómenos neurovegetativos. El sistema límbico es parte importante del cerebro relacionado con la elaboración de las conductas emocionales.

Encefalización Concepto que refiere a la evolución y elaboración de las partes superiores del encéfalo. Ello conlleva aumento de la complejidad del procesado de la información y del control comportamental. Este principio también se aplica a los invertebrados. En general, el concepto de encefalización refiere al aumento general del tamaño y la complejidad de las conexiones del encéfalo a medida que se asciende en la escala de los vertebrados. El cerebro y cerebelo son las estructuras que mayormente expresan este proceso de encefalización, que, por otra parte, alcanza su mayor expresión en el hombre.

Envejecimiento cerebral Proceso deletéreo complejo de este órgano producto de la interacción de factores genéticos, ambientales, hormonales y metabólicos. El proceso de envejecimiento afecta de modo distinto a las diferentes partes del cerebro.

Factor de crecimiento nervioso (NGF) Factor identificado y purificado por Stanley Cohen, quien fue premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1986 por dicho descubrimiento. Es una proteína de 130.000 de peso molecular, con subunidades alfa (2), beta (2) y gamma (2) necesaria para el crecimiento y mantenimiento de la actividad neuronal normal. La capacidad promotora de crecimiento nervioso la tienen las subunidades b (13.200 de peso molecular cada una), cuya secuencia de aminoácidos es parecida a la de la insulina. Esta proteína es secretada por los órganos diana y captada por las terminales nerviosas en donde por transporte retrógrado alcanza el cuerpo neuronal. En el SNC y durante la neurogénesis el NGF es secretado por la cresta neural y promueve y estimula el crecimiento de los axones. Esencial en el mantenimiento de ciertos sistemas neuroquímicos, por ejemplo los sistemas colinérgicos centrales y el sistema nervioso vegetativo simpático.

Factores neurotróficos Factores que promueven el crecimiento nervioso. En general son referidos como neurotrofinas. Junto al factor de crecimiento nervioso están el factor neurotrófico derivado del cerebro y las neurotrofinas 3 (NT3), 4 (NT4) y 5 (NT5).

Junto a éstos, otros factores de crecimiento incluyen el *Acidic Fibroblast Groth Factor* (a-FGF), *Basic Fibroblast Groth Factor* (b-FGF), *Ciliary Neurotrophic Factor* (CNTF), *Epidermal Groth Factor* (EGF), *Insulin-like Groth Factor I* y *II* (IGF) y el *Platelet-derived Groth Factor* (PDGF).

Filogenia Desarrollo evolutivo de un grupo particular de organismos vivos que se reproduce de un modo continuado y progresivo cuyo determinismo y mecanismos no son bien conocidos. Es lo contrario al desarrollo del individuo como tal (ontogenia).

Ganglios basales Masa cerebral situada en la base de los hemisferios cerebrales (de ahí su nombre). Llamados ganglios por ser ese el término aplicado por los histólogos del siglo XIX a los grandes grupos de neuronas. Los constituyen los núcleos Caudado y Putamen (ambos reciben el nombre de Cuerpo estriado) y el Globus Pallidus con sus segmentos externo e interno. Funcionalmente, el complejo estriado-pálido actúa en conexión con el núcleo subtalámico (recíprocamente interconectado con el pálido) y la sustancia negra (pars compacta y pars reticular, interconectada con el estriado). Los ganglios basales reciben información de grandes áreas de la corteza cerebral y del sistema límbico. Su función está relacionada con la planificación del acto motor y la memoria motora.

Gen Unidad básica de la herencia. Corresponde a un segmento de la molécula de ADN. En Bioquímica el término gen es equivalente al de cistrón que refiere, con más precisión, al segmento de la molécula de ADN que codifica para la formación de una cadena polipeptídica completa.

Genio Refiere al hombre con capacidades excepcionalmente superiores. Implica un alto grado de talento y creatividad.

Genoma Conjunto completo del material genético (del ADN) de la célula. Es el número básico de cromosomas.

Giro cingulado Giro o área situada en la superficie interna de cada hemisferio cerebral entre el surco cingulado y el surco del cuerpo calloso. Se extiende desde la región subcallosa y sigue por delante de la rodilla y splenium del cuerpo calloso para continuarse con el giro parahipocámpico en el lóbulo temporal. Forma parte del llamado sistema límbico. Participa en los circuitos que codifican funciones relacionadas con la emoción y motivación.

Glía Término genérico para referirse a las celulas no neurales del Sistema Nervioso Central. *Véase* Células gliales.

Glía radial Célula glial existente en el SNC de los vertebrados y que aparece durante la vida embrionaria proporcionando las líneas que guiarán las neuronas que migran.

Hipocampo Circunvolución situada en la región anteromedia del lóbulo temporal, que resulta de la internalización, en los mamíferos, de una corteza arcaica desarrollada en reptiles y mamíferos primitivos. Esta archicorteza se compone principalmente de dos estructuras: giro o fascia dentada y el cuerno de Ammon. Consta de tres capas (molecular, granular y polimorfa). Forma parte del sistema límbico. Estructura fundamental en el registro de diferentes tipos de memorias.

Hipotálamo Estructura localizada por debajo del tálamo y por encima del quiasma

óptico y de la silla turca que participa en la regulación de los sistemas neurovegetativo y endocrino. Forma parte fundamental de los circuitos de control neural de la ingesta de alimento, agua, sexualidad y temperatura. Se encuentra integrado por agrupaciones neuronales o núcleos. Clásicamente se distinguen el hipotálamo anterior o quiasmático, el hipotálamo medio o infundibular y el hipotálamo posterior o mamilar.

Identidad psiconeural, teoría Teoría de la relación mente-cerebro que proclama que los estados mentales son estados cerebrales (físicos). Cada estado o proceso mental es idéntico a un estado o proceso físico y químico en el cerebro.

Imprinting Término anglosajón de uso corriente en español, que podría traducirse por impresión o huella. Refiere a la observación del fenómeno por el cual animales recién nacidos tienden a fijarse conductualmente a una persona, animal u objeto en movimiento si éste es el primer estímulo que observan.

Interneurona Sinónimo de neurona intrínseca y de neurona intercalar. Son neuronas de Golgi tipo II. Estas neuronas no reciben información desde la periferia ni envían señales motoras a los efectores. Generalmente, estas neuronas no proyectan fuera de su propia área local. Con frecuencia son inhibitorias.

Lenguaje Conjunto de sonidos con un significado mediante el que el hombre comunica lo que piensa o siente. Es el ejemplo más importante de la lateralización cerebral.

Magnetoencefalografía (MEG) Procedimiento basado en el registro dinámico de los campos magnéticos débiles que se generan por los movimientos de cargas eléctricas cerebrales y que pueden ser registrados. Es un método complementario al EEG que tiene la ventaja de que dichos campos magnéticos no son filtrados por el cráneo tan potentemente como las ondas de los registros E. E. Gráficos.

Médula espinal Parte del Sistema Nervioso Central que ocupa el canal vertebral. Se encuentra limitada cranealmente por el orificio occipital (origen del I nervio raquídeo) y se extiende hasta la primera o segunda vértebra lumbar. Tiene una longitud de unos 45 cm y está constituida por una sustancia blanca periférica (fibras) y una sustancia gris central (neuronas) con dos astas anteriores y dos astas posteriores. De ella salen 31 pares de nervios. Está dividida en ocho segmentos cerviales, doce torácicos, cinco lumbares, cinco sacros y dos o tres coxígeos. Es la sede de los reflejos espinales

Memoria Es la capacidad de evocar respuestas aprendidas previamente.

Memoria a corto plazo Memoria que retiene temporalmente información (minutos-horas). Tipo de memoria previo a su transformación en memoria a largo plazo. La información de este tipo es accesible inmediatamente a la conciencia.

Memoria icónica Memoria de lo muy cercano, dura menos de un segundo, de gran precisión y rápido decaimiento.

Mentalismo Teoría que sostiene que la mente es un producto del cerebro aun cuando emergente e irreductible a éste (dualismo inherente, funcionalista o emergente). Se trata de una «interacción psico-física (entre mente y cerebro) fundamentalmente monista, siendo los fenómenos mentales subjetivos realidades primarias y potentes tal cual son experimentadas subjetivamente.

Mente Es un concepto impreciso que refiere al conjunto de atributos de la persona

durante la experiencia consciente como pensar, sentir y la misma consciencia del yo. Para muchos pensadores y científicos actuales su naturaleza es material y refiere a la expresión de la función cerebral. Para otros, muy pocos hoy, su naturaleza es espiritual no-material.

Módulo cortical Sinónimo de columna o cilindro cortical.

Motivación En Psicología fisiológica dícese de aquellos estados que llevan a una conducta voluntaria que lleva a obtener un determinado fin. La ingesta de agua, comida, satisfacción sexual y regulación conductual de la temperatura se dice que son conductas motivadas, puestas en marcha por «motivos» o *drives*.

Muerte neuronal programada Apoptosis.

Neurita Sinónimo de axón y cilindroeje. A veces se aplica a las ramas dendríticas de las neuronas de los invertebrados.

Neuroblasto Células nerviosas primitivas (embrionarias) precursoras de las neuronas, de las que éstas se desarrollan directamente.

Neuropsicología Disciplina que estudia los procesos psicológicos en base y correlación a los procesos neuroanatómicos, neuroquímicos y neurofisiológicos del cerebro. En la práctica esta disciplina se ocupa del estudio psicológico (déficits) de las personas con daño cerebral de diverso origen (traumático, posquirúrgico, etc.).

Neurotransmisor Sustancia endógena que se encuentra almacenada en la terminal axónica (sinaptosoma) de una neurona, capaz de ser liberada por potenciales de acción y alterar la polaridad de la neurona con la que está en inmediato contacto. El neurotransmisor es sintetizado por la terminal presináptica, cuerpo neuronal o ambos y degradado o recaptado inmediatamente tras su liberación.

Ontogenia Formación y desarrollo individual de un organismo, independientemente de su filogenia.

Percepción Proceso mediante el cual se toma consciencia del mundo exterior. En este proceso hay una parte objetiva y otra subjetiva. El estudio de la relación entre ambas constituye el campo de la Psicofísica.

Percepción consciente Sensación que se acompaña de una interpretación sobre la base de experiencias previas.

Periodo crítico Concepto general que refiere a un momento del desarrollo importante y a veces irreversible para una determinada función normal.

PET Abreviatura anglosajona para *Positrom Emision Tomography* (tomografía por emisión de positrones).

Posdescarga Sincronización en el disparo de potenciales de acción de un grupo numeroso de neuronas durante un determinado periodo de tiempo (normalmente de varios segundos a un minuto). La amígdala y el hipocampo son dos áreas del sistema límbico en que más fácilmente se puede evocar este fenómeno por estímulo eléctrico.

Potenciación a largo plazo Concepto que refiere al aumento y facilitación de larga duración de la transmisión sináptica producida tras una estimulación breve pero de alta frecuencia. Descrita en el hipocampo y otras estructuras cerebrales con alta concentración de receptores NMDA. Actualmente se le considera una posible base

neurobiológica de la memoria.

Psicofísica Estudio de los sistemas sensoriales (percepciones por los órganos de los sentidos, percepción de la postura, el movimiento y el dolor) y las correlaciones cuantitativas entre los aspectos específicos de los estímulos físicos y las respuestas o sensaciones subjetivas que éstos provocan.

Psicología cognoscitiva Disciplina dedicada al estudio del conocimiento humano, sus componentes, sus orígenes y su desarrollo (percepción, memoria, aprendizaje, lenguaje, etc.) tras postular un sistema de estados internos (programas) controlados por un sistema de procedimientos computacionales. El objetivo final es lograr un conocimiento global de la organizaión funcional del cerebro humano.

Qualia Término que refiere a las cualidades de un fenómeno.

Quantum cognoscitivo Concepto teórico dado al barrido (12 mseg) de la corteza cerebral (de adelante atrás fronto-temporal) por los circuitos intrínsecos «cerrados» tálamo-corticales. Se supone que es la unidad de conocimiento o conciencia.

Ratón transgénico Ratón obtenido tras inyectar genes exógenos en el cigoto. Tras esta operación el nuevo gen forma parte del ADN en todas las células, incluido el de las células germinales.

Red neuronal biológica Interconexiones entre neuronas que codifican para una determinada función.

Redes neuronales artificiales Redes simuladas por el ordenador *(input units)*, unidades intermedias o de segundo nivel *(hidden units)* y unidades de salida *(output units)*. Las unidades se conectan de modo que el primer nivel hace contacto con el segundo y éste con el último nivel de salida. A cada contacto se le puede dar una determinada fuerza (o peso) de contacto *(strength* o *weight)*. Siguiendo este patrón general de interconexiones se pueden construir redes neurales con diferente número de unidades, conexiones y fuerza o grado de conexión entre ellas y transformar así vectores de salida tras ser los primeros procesados por la red.

Reduccionismo Reemplazamiento de hechos o teorías por otros que son más simples o elementales.

Reflejo Acto motor más simple como respuesta a un determinado estímulo. Todo reflejo consta de cinco elementos: 1, Receptor; 2, Neurona aferente (sensorial); 3, Procesamiento central; 4, Neurona eferente (motora) y 5, Efector (músculo).

Refuerzo Programa o procedimiento por el que una respuesta es seguida de una recompensa o un castigo (en este caso altera la probabilidad de que tal respuesta vuelva a repetirse. El agua o alimento son refuerzos positivos (aumento) y el shock eléctrico negativo (disminución).

REM Abreviatura anglosajona *(Rapid-Eye-Movements)* utilizada para el sueño paradójico.

REM Es una etapa del sueño que se asocia con movimientos oculares y pérdida profunda del tono muscular. El electroencefalograma aparece desincronizado y existe activación simpática. En este periodo ocurren frecuentemente los sueños.

Resonancia magnética nuclear Método no invasivo utilizado tanto experimentalmente

en animales como en clínica humana y que permite el diagnóstico de procesos cerebrales anormales. Se basa en la capacidad de ciertos átomos como el hidrógeno y el fósforo para comportarse como magnetos. Ante un campo magnético poderoso externo estos magnetos nucleares pueden orientarse conformando una determinada línea de fuerza. La liberación posterior de estas fuerzas conlleva liberación de energía y ésta puede ser detectada y utilizada para reconstruir una imagen del cerebro o áreas del cerebro.

Sinapsis Término acuñado por Charles Sherrington para significar la unión o contacto entre dos neuronas. Pueden ser eléctricas y químicas. En la sinapsis se han de considerar tres partes: la presinapsis, el espacio sináptico y la postsinapsis. En las sinapsis químicas la señal interneuronal es transmitida por una sustancia química liberada por la terminal presináptica. Ésta interactúa con receptores específicos localizados en la terminal postsináptica. El número de sinapsis de cada neurona varía ampliamente, pero suele ser grande, aproximadamente una neurona motora de un mamífero tiene unas 5.000 sinapsis. Una simple célula de Purkinje de la corteza cerebelar tiene unas 90.000 sinapsis.

Sistema distributivo o distribuido Hipótesis global del funcionamiento de la corteza cerebral según la cual una determinada función no es propiedad de un substrato anatómico localizado en la misma sino una propiedad de la actividad dinámica en el sistema. Este sistema consiste en múltiples conexiones entre subunidades columnares de la corteza cerebral multiubicadas a lo largo de la misma. Constituyen el nivel más alto de la integración-convergencia-divergencia entre distintas regiones del SNC. Son características de las funciones superiores de los sistemas motor y sensorial y de muchos sistemas centrales.

Sistema límbico Concepto genérico de delimitaciones anatómicas y funcionales imprecisas. Refiere a aquel conjunto de áreas cerebrales a las que se les supone formando circuitos que codifican el mundo personal de la emoción (placer, rabia, agresividad, etc.) y la motivación (ingesta de agua y alimentos, actividad sexual, etc.). Éstas incluyen: giro del cíngulo, giro parahipocámpico, hipocampo, amígdala, séptum, núcleo accumbens, hipotálamo y corteza órbito-frontal.

Tálamo Estructura subcortical diencefálica, que puede subdividirse en tres partes: epitálamo, tálamo ventral y tálamo dorsal. El epitálamo, situado en el piso del diencéfalo, está constituido por la habénula y su comisura, la glándula pineal y la comisura posterior (está relacionado con el sistema límbico). Las funciones y conexiones del tálamo ventral son poco conocidas. El tálamo dorsal, por el contrario, es la gran masa talámica en la que recala toda la información que asciende a la corteza en forma general difusa o específica. También recibe aferencias corticales. Los núcleos pueden clasificarse en núcleos de proyección no específicos (aquellos que proyectan a toda la corteza cerebral), núcleos de proyección cortical específicos o núcleos de relevo sensorial específicos (aquellos que proyectan a las áreas específicas de la corteza cerebral) y núcleos específicos de asociación (aquellos que proyectan a áreas corticales de asociación).

Tomografía por emisión de positrones, PET Imagen tomográfica que utiliza radioisótopos de átomos que emiten positrones. La colisión de estos positrones con los electrones de carga negativa produce emisión de rayos gamma cuyo rastreo mide y analiza un sistema computadorizado.

Tronco del encéfalo Sinónimo de tronco cerebral y tallo cerebral. Porción del sistema nervioso situada inmediatamente por encima de la médula y que comprende el bulbo, puente y mesencéfalo.

Visión ciega Fenómeno neuropsicológico en el que el paciente tiene visión pero no es consciente de ello. Su comportamiento es el de ceguera total. Está producido principalmente por lesiones del área visual V1 (estriada).

BIBLIOGRAFÍA

ABBOTT, A. (2007): «Scanning psychopaths», *Nature* 450, 942-943.

ADOLPHS, R. (2002): «Trust in the brain», *Nature Neuroscience* 5, 192-193.

ADOLPHS, R.; TRANEL, D.; DAMASIO, H. y DAMASIO, A. (1994): «Impaired recognition of emotion in facial expressions following bilateral damage to the human amygdala», *Nature* 372, 669-672.

—; —; —; — y COOPER, G. (2000): «A role for somatosensory cortices in the visual recognition of emotion as revealed in three-dimensional lesion mapping», *J. Neurosc.* 20, 2683-2690.

AGNATI, L. F.; AGNATI, A.; MORA, F. y FUXE, K. (2007): «does the human brain have unique genetically determined networks coding logical and ethical principles and aesthetics? From Plato to novel mirror networks», *Brain Res. Rev.* 55, 68-77.

ALLISON, T. (2001): «Neuroscience and Morality», *The Neuroscientist* 7, 360-364.

AMODIO, D. M. y FRITH, C. D. (2006): «Meeting of minds: the medial prefrontal cortex and social cognition», *Nature Reviews Neuroscience* 7, 268-277.

ANDERSON, S. W.; BECHARA, A.; DAMASIO, H.; TRANEL, D. y DAMASIO, A. R. (1999): «Impairment of social and moral behavior related to early damage in human prefrontal cortex», *Nature Neuroscience* 2, 1032-1037.

ANDREASEN, N. C. (1987): «Creativity and mental illness: Prevalence rates in writers and their fist-degree relatives», *American Journal of Psychiatry* 144, 1288-1292.

ARANGUREN, J. L. (1965): *Ética*, Revista de Occidente, Madrid.

ARBIB, M. A. (1998): «Self and Society: between God and Brain», *Cognitive Neuroscience* 2, 377-378.

ARMONY, J. L. y LE DOUX, J. E. (2000): «How danger is encoded: Toward a systems, cellular and computational understanding of cognitive-emotional interactions in fear». En: *The new cognitive neurosciences* (M. S. Gazzaniga, ed.), MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

ARROW, H. (2007): «The sharp end of altruism», *Science* 318, 581-582.

ARSHAVSKY, Y. I. (2006): «"Scientific roots" of dualism in neuroscience», *Progress in Neurobiology* 79, 190-204.

ATKINS, P. (2003): *El dedo de Galileo: las diez grandes ideas de la ciencia*, Espasa Calpe, Madrid.

AUSTIN, J. H. (1999): *Zen and the Brain. Toward an understanding of Meditation and Consciousness*, MIT Press, Cambridge Massachusetts.

AXELROD, R. y HALMILTON, W. D. (1981): «The evolution of cooperation», *Science* 211, 1390-1396.

AYALA, F. J. (1980): *Origen y evolución del hombre*, Alianza Universidad, Alianza Editorial, Madrid.
— (1994): *La naturaleza inacabada*, Salvat, Barcelona.
BAJJALIEH, S. A. (1999): «Synaptic vesicle docking and fusion», *Curr. Op. Neurobiol.* 9, 321-328.
BALTER, M. (2005): «Are human brains still evolving? Brain genes show signs of selection», *Science* 309, 1662-1663.
— (2007): «Brain evolution studies go micro», *Science* 315, 1208-1211.
BARBER, B. (1976): «The ethics of experimentation with human subjects», *Scientific American* 234, 25-31.
BARRACLOUGH, D. J.; CONROY, M. L. y LEE, D. (2004): «Prefrontal cortex and decision making in a mixed-strategy game», *Nature Neuroscience* 7, 404-410.
BARRETT, J. L. (2000): «Exploring the natural foundations of religion», *Trends in Cognitive Sciences* 4, 29-34.
BARRO, R. J. y SALA-I-MARTIN, X. (2003): *Economic Growth*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
BEAKLEY, B. y LUDLOW, P. (eds.) (1992): *The philosophy of mind: Classical Problems/Contemporary Issues*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
BECHARA, A.; DAMASIO, H.; TRANEL, D. y DAMASIO, A. R. (1997): «Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy», *Science* 275, 1293-1295.
Bhagavad-Gita o Canto del Bien Aventurado (1964), Aguilar, Madrid.
BLAKEMORE, C. (1977): *Mechanics of the Mind*, Cambridge University Press.
BLANK, R. H. (1999): *Brain Policy: How the New Neuroscience will change our lives and our politics*, Georgetown University Press, Washington DC.
BLANKE, O.; ORTIGUE, S.; LANDIS, T. y SEECK, M. (2002): «Stimulating illusory own-body perceptions», *Nature* 419, 269.
BOGOLEPOVA (1997): *Principles of Neuronal Aging*. En: S. U. Dani, A. Hori y G. F. Walter (eds.), Elsevier, Amsterdam.
BOUCHARD, T. J. (1994): «Genes, environment and personality», *Science* 264, 1700-1701.
BREITER, H. C.; AHARON, I.; KAHNEMAN, D.; DALE, A. y SHIZGAL, P. (2001): «Functional imaging of neural responses to expectancy and experience of monetary gains and losses», *Neuron* 30, 619-639.
BRODMAN, K. (1903): «Beiträge zur histologischen lokalisation der grosshirnrinde Imitteilung: Die Regio Rolandica», *J. Für Psychologie und Neurologie* 2, 79-107.
BULTE, E.; DAMANIA, R.; GILLSON, L. y LINDSAY, K. (2004): «Space. The final frontier for economists and elephants», *Science* 306, 420-421.
CAMERER, C.; LOEWENSTEIN, G. y PRELEC, D. (2005): «Neuroeconomics: how neuroscience can inform economics», *J. Económic Literature* 43, 9-64.
CAMERON, H. A. y MCKAY, R. D. G. (1999): «Restoring production of hippocampal neurons in old age», *Nature Neuroscience* 2, 894-897.
CAMILLE, N.; CORICELLI, G.; SALLET, J.; PREDAT-DIEHL, P.; DUHAMEL, J.-R. y SIRIGU, A.

(2004): «The involvement of the orbitofrontal cortex in the experience of regret», *Science* 304, 1167-1170.
CAMPOS-ORTEGA, J. A. (1999): «Logros en la biología del desarrollo», *Saber Leer* 128.
CARLOS GÓMEZ (ed.) (2002): *Doce textos fundamentales de la ética del siglo* XX, Alianza Editorial, Madrid.
CASEBEER, W. D. (2003): «Moral cognition and its neural constituents», *Nature Reviews Neuroscience* 4, 841-846.
CHALMERS, D. J. (1995): «The Puzzle of Conscious Experience», *Scientific American,* diciembre 80-86.
CHANGEUX, J. P. (2004): *The physiology of truth: Neuroscience and human knowledge*, Harvard University Press.
CHANGEUX, J. P. y CHAVAILLON, J. (eds.) (1985): *El hombre neuronal*, Espasa-Calpe, Madrid.
— (1995): *Origins of the Human Brain*, Clarendon Press, Oxford.
CHAVAILLON, J. (1995): *Origins of the Human Brain*, Clarendon Press, Oxford.
CHOMSKY, N. (1968): *Language and the Mind*, Harcourt, Nueva York.
CHURCHLAND, P. M. (1982): «Mind-Brain Reduction: New Light from the Philosophy of Science», *Neuroscience* 7, 1041-1047.
— (1988): *Matter and consciousness. A contemporary introduction to the phylosophy of mind*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
— (1990): *Neurophylosophy. Towards a unified science of the mind-brain*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
— y SEJNOWSKI, T. J. (1992): *The computational brain*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
— (1995): *The Engine of Reason, the Seat of the Soul*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
— (2000): «Neurosemántica: Sobre mapas mentales y la representacion de los mundos». En: *Nuevos Desafíos del conocimiento*, F. Mora y J. M. Segovia de Arana (eds.), Fundacion BSCH-Ediciones Nobel, Oviedo.
— (2002): *Brain-Wise. Studies in Neurophilosophy*, MIT Press. Cambridge, Massachusetts.
COHEN, L. G.; CELNIK, P.; PASCUAL-LEONE, A.; CORWELL, B.; FAIZ, L.; DAMBROSIA, J.; HONDA, M.; SADATO, M.; GERLOFF, C.; CATALA, M. D. y HALLET, M. (1997): «Functional relevance of cross-modal plasticity in blind humans», *Nature* 389, 180-183.
COMMISSION ON THE HUMANITIES (1980): «The Humanities in American Life». Report of the Commission on the Humanities.
CONROY, G. C. y WEBER, G. (1998): «Endocraneal capacity in an early hominid craneum from sterkfontein, South Africa». *Science* 280, 1730-1731.
COOTER, R. y ULEN, T. (2000): *Law and Economics*, Addison-Wesley, Massachusetts.
CORRADO, G. y DOYA, K. (2007): «Understanding neural coding through the model-based analysis of decision making», *J. Neuroscience* 27, 8178-8180.

CRICK, F. (1994): *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul*, Scribner's and Sons.
— y KOCH, C. (1990): «Towards a Neurobiological theory of consciousness», *Seminars in Neuroscience* 2, 263-275.
CROMPTON, A. W. y JENKINS, F. A. (1973): «Mammals from Reptiles: a Review of Mammalian Origins». En: *Annual Review of Earth and Planetary*, *Science* 1, 131-151.
CURTIS, S.; FROMKIN, V.; KRASHEN, S.; RIGLER, D. y RIGLER, M. (1974): «The linguistic development of Genie», *Language* 50, 528-555.
D'AQUILI, E. y NEWBERG, A. (1999): *The mystical mind*, Fortress Presss, Minneapolis.
DAEYEOL, L. (2006): «Best to go with what you know?», *Nature*, 441, 822-823.
DAMASIO, A. R. (ed.) (1990): «The Neurobiology of the Mind», *Seminars in Neurosciences* 2 (4), 245.
—; TRANEL, D. y DAMASIO, H. (1993): «Retrieving the names of entities and retrieving the names of actions», *Prog. Rep. Neurol. Iowa*.
— (1994): *Descarte's error*, Picador, Putnam, Londres [ed. cast.: *El error de Descartes: la emoción, la razón y el cerebro humano,* Crítica, Barcelona, 1996].
—; DAMASIO, A. (1994): «Cortical Systems for Retrieval of Concrete Knowledge: the Convergence Zone Framework». En: *Large-Scale Neuronal Theories of the Brain,* C. Koch y J. L. Davis (eds.), MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
— (1995): «Toward a Neurobiology of Emotion and Feeling: Operational Concepts and Hypothesis», *The Neuroscientist* 1, 19-25.
— (1998): «Emotion in the perspective of an integrated nervous system», *Brain res. Rev.* 26, 83-86.
— (1999): *The feeling of what happens*, William Heinemann, Londres [ed. cast.: *La sensación de lo que ocurre*, Debate, Barcelona, 2001].
— (2003): *Looking for Spinoza. Joy, sorrow and the feeling brain*, Harcourt, Orlando [ed. cast.: *En busca de Spinoza: neurobiología de la emoción y los sentimientos*, Crítica, Barcelona, 2005].
— (2005): «Brain Trust», *Nature* 435, 571-572.
DAMASIO, H.; GRABOWSKI, T.; FRANK, R.; GALABURDA, A. M., y DAMASIO, A. R. (1994): «The Return of Phineas Gage: Clues About the Brain from the Skull of a Famous Patient», *Science* 264, 1102-1105.
DART, R. A. (1964): «The ecology of the South African man-apes. In: Ecological Studies in Southern Africa», D. H. S. Davies (ed.), 49-66. The Hague: H. W. Junk.
DARWIN, Ch. (1871): *The Decent of Man*, Murray, Londres.
— (1998): *La expresión de las emociones en el hombre y los animales*, Alianza Editorial, Madrid.
— (2005): *The Darwin Compendium*, Barnes and Noble Books Publ.
DAWKINS, R. (1976): *The selfish gene*, Oxford University Press, Oxford [ed. cast.: *El gen egoísta: las bases biológicas de nuestra conducta*, Salvat, Barcelona, 1994].
DEAN, C. y DRESBACH, T. (2006): «Neuroligins and neuroxins: linking cell adhesion,

synapse formation and cognitive functions», *Trends Neurosci* 29, 21-29.
DENETT, D. C. (1991): *Conciousness explained*, Little Brown, Boston.
DELGADO, J. M. R. (1973): *Control físico de la Mente*, Espasa Calpe, Madrid.
—; MORA, F. y SANGUINETTI, A. M. (1973): *Reduction by diphenylhydantoin of afterdischarges in the amygdala of stimulated rhesus monkeys*. En *The Broad Range Use of Diphenylhydantoin*, The Dreifus Medical Foundation, Nueva York, vol. 2, 12-13.
— (1975): «New orientations in brain stimulation in man». En: A. Wauquier y E. T. Rolls (eds.), *Brain-Stimulation Reward*, North-Holland Publ. Co.
DELGADO, J. M.; FERRÚS, A.; MORA, F. y RUBIA, F. J. (eds.) (1998): *Manual de Neurociencia*, Síntesis, Madrid.
— y MORA, F. (1998): «Emoción y motivación. Sistema límbico». En: J. M. Delgado, A. Ferrús, F. Mora y F. Rubia (eds.), *Manual de Neurociencia*, Síntesis, Madrid, 891-911.
DENNET, D. C. (1991): *Consciousness explained*, Boston, Little Brown.
— (2003): «The self as a responding and responsible artifact*», Ann. New York Acad. Sci*. 1001, 39-50.
DOBKIN DE rIOS, M. y JANIGER, O. (2003): *LSD, spirituality and the creative process,* Park Street Press, Rochester, Vermont.
DOBZHANSKY, T. (1973): «Nothing in biology makes sense except in the light of evolution», *American Biology Teacher* 35, 125-129.
DOLAN, R. J. (1999): «On the Neurology of Morals», *Nature Neuroscience* 2, 927-929.
DUNCAN, J. y OWEN, A. M. (2000): «Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands», *Trends in Neuroscience* 23, 475-483.
EAGLEMAN, D. M. (2004): «The where and when of intention», *Science* 303, 1144-1146.
EASTMAN, N. y CAMPBELL, C. (2006): «Neuroscience and legal determination of criminal responsibility», *Nature Reviews Neuroscience* 7, 311-318.
ECCLES, J. C. (1973): *The understanding of the brain*, McGraw Hill Book Co., Nueva York.
— (1979): *The Human Mistery*, Springer International, Berlín.
— (1989): *Evolution of the brain: Creation of the self*, Routledge, Londres.
— (1990): «A unitary hypothesis of mind-brain interaction in the cerebral cortex», *Proc. R. Soc. London*, B240, 433-451.
ECKHARDT, R. B. (1987): «Was plio-pleistocene hominid expansion a pleiotropic effect of adaptation for heat stress?», Anthrop, Anz., 45, 193-201.
EDELMAN, G. V. y MOUNTCASTLE, V. B. (1978): *The mindfull brain. Cortical organization and group-selective theory of higher brain function*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
— (1999): «Displacing Metaphysics: Consciousness research and the future of neuroscience», XXXI Lección conmemorativa Jimenez Díaz, Madrid.
— y TONONI, G. (2000): *A Universe of Consciousness,* Basic Books, Nueva York.
EDITORIAL (1998): «Does Neuroscience threaten Human Values», *Nature Neuroscience*

1, 535-536.
EDITORIAL (2003): «Predicting behavior», *Nature Neuroscience* 6, 647.
EDITORIAL (2003): «Scanning the social brain», *Nature Neuroscience* 6, 1239.
EDITORIAL (2004) «Brain scam?», *Nature Neuroscience* 7, 683.
EDITORIAL (1998): «Does Neuroscience threaten Human Values», *Nature Neuroscience* 1, 535-536.
EKMAN, P. (1982): *Emotion in the human face*, Cambridge University Press, Nueva York.
ESLINGER, P. J. y DAMASIO, A. R. (1985): «Severe disturbance of higher cognition after bilateral frontal lobe ablation: patient EVR», *Neurology* 35, 1731-1741.
—; FLAHERLY-CRAIG, C. V. y BENTON, A. L. (2004): «Developmental outcomes after early prefrontal cortex damage», *Brain Cogn.* 55, 84-103.
FAIGMAN, d. l. (2004): *Laboratory of Justice. The Supreme Court's. 200 years struggle to integrate Science and the Law*, Times Books, Nueva York.
FARAH, M. J. (2002): «Emerging ethical issues in neuroscience», *Nature Neuroscience* 5, 1123-1129.
—; ILLES, J.; COOK-DEEGAN, R.; GARDNER, H.; KANDEL, E.; KING, P.; PARENS, E.; SAHAKIAN, B. y WOLPE, P. R. (2004): «Neurocognitive enhacement: what can we do and what should we do?», *Nature Reviews Neuroscience* 5, 421-425.
— (2005): «Neuroethics: The practical and the Philosophical», *Trends in Cognitive Sciences* 9, 34-40.
FARWELL, L. A.; DONCHIN, E. (1991): «The truth will out: interrogative polygraphy ("lie detection") with event-related brain potentials», *Psychophysiology* 28, 531-547.
FERGUSON, M. J. y BARGH, J. A. (2004): «How social perception can automatically influence behaviour», *Trends in cognitive sciences* 8, 33-39.
FERNÁNDEZ DE MOLINA, A. (1998): «Cerebro y sentimientos». En: F. Mora y J. M. Segovia de Arana (coords.), *Desafíos del conocimiento ante el tercer milenio,* Fundación BSCH-Ediciones Nobel, Oviedo.
FIALKOWSKI, K. R. (1978): «Early Hominid, Brain Evolution and Heat Stress: a Hypothesis», *Stud. Phys. Anthropol*, 4, 87-92.
— (1986): «A mechanism for the origin of the human brain: A hypothesis», *Curr. Anthro*. 27, 288-290.
FIELDS, D. y ITOH, K. (1996): «Neural cell adhesion molecules in activity-dependent development and synaptic plasticity», *TINS* 19, 473-480.
FISKE, S. T.; HARRIS, L. T. y CUDDY, A. J. C. (2004): «Why ordinary people torture enemy prisoners», *Science* 306, 1482-1483.
FLANAGAN, O. (1992): *Consciousness Reconsidered*, MIT Press, Cambridge, Massachussets.
FODOR, J. A. (1991): *A theory of content and other essays*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
FREUD, S. (2000): *Psicoanálisis del arte*, Alianza Editorial, Madrid.
— (2001): *El malestar en la Cultura*, Alianza Editorial, Madrid.

FROEBER, A. L. y KLUCKHOHN, K. M. (1952): «Culture a critical review of concepts and definitions», *Papers of the Peaboby Museum of American Archeology and Ethnology*, Harvard University 47, 643-644.
FUJITA, S. (1997): «Ontogeny and Evolution of the Vertebrate Central Nervous System». En: S. U. Dani; A. Hori y G. F. Walter (eds.), *Principles of Neural Aging*, Elsevier, Amsterdam.
FUKUYAMA, F. (2002): *Our Posthuman Future*, Farrar, Straus and Giroux, Nueva York.
FUSTER, J. (1998): «La memoria». En: F. Mora, J. M. Segovia de Arana (eds.), *Desafíos del conocimiento ante el Tercer Milenio*, Fundación BSCH-Ediciones Nobel, Oviedo.
— (2001): «The prefrontal cortex. An update: Time is of the essence», *Neuron* 30, 319-333.
GALLAGHER, H. L. y FRITH, C. D. (2003): «Functional imaging of "theory of mind"», *Trends in Cognitive Sciences* 7, 77-83.
GARCÍA BELLIDO, A. (1994): «How organisms are put together», *Europ. Rev*. 2, 15-21.
GARDNER, R. A.; GARDNER, B. y VANCANTFORT, T. E. (eds.) (1989): *Teaching sign language to chimpanzees*, Albany, N. Y. Suny Press.
GAREY, L. (1994): «Brodmann's localization in the cerebral cortex». En: L. J. Garey (ed.), *Localization in the cerebral cortex*, Smith-Gordon, Londres.
GARLAND, B. (2004): *Neuroscience and the law. Brain, Mind and the Scales of Justice*, Dana Press, Nueva York.
— y Glimcher, P. W. (2006): «Cognitive Neuroscience and the law», *Current Opinion in Neurobiology* 16, 130-134.
GAZZANIGA, M. S. (ed.) (2000): *The new Cognitive Neurosciences*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
— (2005): *The Ethical Brain*, Dana Press.
GEHRING, W. J. (1998): *Master Control Genes in Development and Evolution: The home box Story*, Yale University Press, Yale.
GESCHWIND, N. (1979): «Specializations of the Human Brain», *Sci. Am*. 24(3), 180-199.
GHEZ, C. (1991): «Voluntary movement». En: E. R. Kandel; J. H. Schwartz y T. M. Jessell (eds.), *Principles of Neural Science*, 609-625, 3.ª ed., Appleton and Lange.
GIBBONS, A. (2007): «Food for thought», *Science* 316, 1558-1560.
— (2007): «Hominid harems: Big males competed for small Australopitecine females», *Science* 318, 1363.
GIDDENS, A. (2001): *Sociología*, Alianza Editorial, Madrid.
GIEDON, S. (2004): *El presente eterno: Los comienzos de la arquitectura*, Alianza Editorial, Madrid.
GISOLFI, C. V. y MORA, F. (2000): *The Hot Brain*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
GLIMCHER, P. W. (2003): *Decisions uncertainty and the brain: The Science of Neuroeconomics*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
— y RUSTICHINI, A. (2004): «Neuroeconomics: The Concilience of brain and decision», *Science* 306, 447-452.

GLYNN, I. M. (1990): «Consciousness and Time», *Nature* 348, 477-479.
GOLAN, T. (2004): *Laws of men and laws of nature. The history of scientific expert testimony in England and America*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
GOSWAMI, U. (2006): «Neuroscience and Education: from research to practice?», *Nature Reviews Neuroscience*, Publicado *on line* el 12 de abril.
GOTTERMAN, I. I. y BETELSEN, A. (1989): «Confirming unexpressed genotypes for Schizophrenia», *Arch. Gen. Psychiatry* 46, 867-872.
GOULD, E.; BEYLIN, A.; TANAPAT, P.; REEVES, A. y SHORS, T. J. (1999): «Learning enhances adult neurogenesis in the hippocampal formation», *Nature Neuroscience*, 2, 260-265.
—; REEVES, A. J.; GRAZIANO, M. S. A. y GROSS, Ch. G. (1999): «Neurogenesis in the Neocortex of Adult Primates», *Science* 286, 548-552.
GOULD, S. J. (1999): «The human difference», *The New York Times*, 2 de julio.
GOURAS, P. (1991): «Color Vision». En: E. R. Kandel; J. H. Schwartz y T. M. Jessell (eds.), *Principles of Neural Science*, 3.ª ed., Appleton and Lange.
GRATTAN, L. M. y ESLINGER, P. J. (1992): «Long-term psychological consequences of childhood frontal lobe lesion in patient DT», *Brain Cogn.* 20, 185-195.
GRAY, C. M. y SINGER, W. (1989): «Stimulus-specific neuronal oscillations in orientation columns of cat visual cortex», *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 86, 1698-1702.
GRAY, J. R. y THOMPSON, P. M. (2004): «Neurobiology of intelligence: science and ethics», *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 471-482.
GREENE, J. (2003): «From neural «is» to moral «ought»: what are the moral implications of neuroscientífic moral psychology?», *Nature Reviews Neuroscience* 4, 847-850.
— y HAIDT, J. (2002): «How (and where) does moral judgment work?». *Trends in cognitive Sciences* 6, 517-523.
—; SOMMERVILLE, R. B.; NYSTROM, L. E.; DARLEY, J. M. y COHEN, J. D. (2001): «An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment», *Science* 293, 2105-2108.
GREENE, W. H. (2002): *Econometric Analysis*, Prentice Hall.
GRIFFIN, D. R. (1992): *Animal Minds*. The University of Chicago Press, Chicago.
HAECKEL, E. (1906): *The evolution of man*, Watts, Londres.
HARLOW, H. F. (1958): «The nature of love», *Am. Psychol.* 13, 673-685.
HARRIS, K. M. (1999): «Structure, development, and plasticity of dendritic spines», *Cur. Op. Neurobiol.* 9, 343-348.
HARRIS, M. (2005): *Antropología Cultural*, Alianza Editorial, Madrid.
HART, A.; WHALEN, P.; MCLNERNEY, S.; FISCHER, H. y RAUCH, S. (2000): «Differential response in the human amygdala to racial outgroup versus ingroup face stimuli», *Neuroreport* 11, 2351-2355.
HAUSER, M. D. (2000): *Wild Minds: What animals really think?,* Henry Holt, Nueva York.
HAYNES, J.-D. y REES, G. (2006): «Decoding mental states from brain activity in

humans», *Nature Reviews Neuroscience* 7, 523-534.
HEBB, D. (1949): *The organization of behaviour*, John Wiley & sons, Nueva York.
HERRMANN, E.; CALL, J.; HERNADEZ-LLOREDA, M. V.; HARE, B. y TOMASELLO, M. (2007): «Humans have evolved specialized skills of social cognition: the cultural intelligence hypothesis», *Science* 317, 1360-1366.
HILL, E. y SALLY, D. (2002): «Dilemmas and bargains: Autism, Theory-of-Mind, Cooperation and fairness», working paper 407040, University College, Londres.
HILLMAN, C. H.; ERICKSON, K. I. y FRAMER, A. F. (2008): «Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition», *Nature* 9, 58-65.
HOFFMANN, D. E. y ROTHENBERG, K. H. (2005): «When should judges admit of compel genetic tests?», *Science* 310, 241-242.
HOLLOWAY, R. L. (1995): «Toward a synthetic Theory of Human Brain Evolution». En: J. P. Changeux, J. Chavaillon (eds.), *Origins of the Human Brain*, Clarendon Press, Oxford.
HORGAN, J. (2003): *Rational Mysticism*, Houghton Mifflin Comp., Boston.
— (1994): «Can Science explain Consciousness?», *Scientific Am.*, julio, 88-94.
HSEE, C. K., y HASTIE, R. (2006): «Decision and experience: why don't we choose what make us happy?», *Trends in Cognitive Sciences* 10, 31-359.
HSU, M.; BHATT, M.; ADOLPHS, R.; TRANEL, D. y CAMERER, C. F. (2005): «Neural Systems Responding to degrees of uncertainty in human decision-making», *Science* 310, 1680-1683.
HUBEL, D. H. (1987): «Eye, Brain and Vision», *Scientific American Library*, HPHLP, Nueva York.
HUME, D. (1992): *Tratado de la Naturaleza Humana*, Tecnos, Madrid.
HUTTENLOCHER, P. R. y DABHOLKAR, A. S. (1997): «Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex», *J. Comp. Neurol*. 387, 167-178.
HUXLEY, J. (1964): *Essays of a Humanist*, Harper and Row, Nueva York.
ILLES, J.; BLAKEMORE, C.; HANSSON, M. G.; HENSCH, T. K.; LESHNER, A.; MAESTRE, G.; MAGISTRETTI, P.; QUIRION, R. y STRATA, P. (2005): «International perspectives on engaging the public in neuroethics», *Nature Reviews Neuroscience* 6, 977-982.
INTERNATIONAL MIND, BRAIN AND EDUCATION SOCIETY [on line] www.imbes.org.
INVESTIGACIÓN Y CIENCIA (1995): Temas 5: «El Lenguaje Humano».
IONE, A. y TYLER, Ch. (2003): «Neurohistory and the arts. Was Kandinsky a synesthete?», *Journal History Neuroscience* 12, 223-226.
JACOB, F. (1997): *La souris, la mouche et l'homme*, Odile Jacob, París.
JACOBSON, M. (1995): *Foundations of Neuroscience*, Plenum Press, Nueva York.
JAMES, W. (1984): «What is an emotion?», *Mind* 9, 188-205.
JEDLICKA, P. (2005): «Neuroethics, reductionism and dualism», *Trends Cognitive Sciences* 9, 172.
JERISON, H. J. (1973): *Evolution of the Brain and Intelligence*, Academic Press, Nueva York.
— (1976): «Paleoneurology and the Evolution of Mind», *Scientific American* 234, 90-

101.
JERNIGAN, T. L.; TRAUNER, D. A.; HESSELINK, J. R. y TALLAL, P. A. (1991): «Maturation of human cerebrum observed in vivo during adolescence», *Brain*, 2037-2049.
JOHNSON, G. (2006): «Getting a rational grip on religion», *Scientific American* 1, 80-81.
KAKIZAWA, S.; YAMASAKI, M.; WATANABE, M. y KANO, M. (2000): «Critical period for activity-dependent synapse elimination in developng cerebellum», *Journal Neuroscience* 20, 4954-4961.
KALENSCHER, T. y PENNARTZ, C. M. A. (2008): «Is a bird in the hand worth two in the future? The neuroeconomics of intertemporal decision-making», *Progress Neurobiology* 84, 284-315.
KAMPERMANN G. y GAGE, F. H. (1999): «Regeneración de las celulas nerviosas», *Investigacion y Ciencia*, 7-99.
KANDEL, E. R. (1967): «Cellular studies of learning». En: G. C. Quarton *et al.* (eds.), *The Neuroscience*, Rockefeller University Press, Nueva York, 666-689.
— (1998): «A New Intellectual Framework for psychiatry», *American Journal Psychiatry* 155, 457-469.
— (1999): «Biology and the Future of Psychoanalysis: A new Intellectual Framework for Psychiatry Revisited», *American Journal Psychiatry* 156, 505-524.
— (2000): «Cellular Mechanisms of Learning and the Biological Basis of Individuality». En: E. R. Kandel, J. H. Schwartz, T. M. Jessell (eds.), *Principles of Neural Science*, 4.ª ed., McGraw Hill, Nueva York.
—; SCHWARTZ, J. H. y JESSELL, T. M. (eds.) (2000): *Principles of Neural Science*, 4.ª ed., McGraw Hill, Nueva York.
— y MACK, S. (2003): «A parallel between radical reductionism in Science and in Art», *Ann. Nueva York. Acad. Sci*. 1001, 272-294.
— (2007): *En busca de la memoria*, Katz Editores.
KANT, E. (1957): *Lo bello y lo sublime*, Espasa Calpe, Madrid.
KANWISHER, N. (2006): «What's in a face», *Science* 311, 617-618.
KAWABATA, H. y ZEKI, S. (2004): «Neural Correlates of Beauty», *Journal Neurophysiology* 91, 169-1705.
KASAI, H.; MATSUZAKI, M.; NOGUCHI, J.; YASUMATSU, N. y NAKAHARA, H. (2003): «Structure-stability-function relationships of dendritic spines», *Trends Neuroscience* 26, 360-368.
KEMPERMAN, G. y GAGE, F. H. (1999): «Regeneracion de las celulas Nerviosas», *Investigacion y Ciencia* 274.
KENNEDY, D. (2004): «Neuroscience and Neuroethics», *Science* 306, 373.
— (2006): «Acts of God?», *Science* 311, 303.
KEVLES, B. H. (2004): «Science weighs in on the scales of justice», *Science* 306, 412-414.
KIEHL, K. A. *et al.* (2004): «Temporal lobe abnormalities in semantic processing by criminal psychopaths as revealed by functional magnetic resonance imaging», *Psychiatry Res*. 130, 27-42.

KILLACKEY, H. P. (1995): «Evolution of Human Brain: a Neuroanatomical Perspective». En: M. S. Gazzaniga (ed.), *Cognitive Neuroscience*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

KIRSCH, J. (1999): «Assembly of signaling machinery at the postsynaptic membrane», *Cur. Op. Neurobiology* 9, 329-335.

KLEINENBERG, N. (1872): *Hydra, eine Anatomisch-entwicklungsgeschichtliche Untersuchung*, Engelman, Leipzig.

KNOBE, J. (2005): «Theory of mind and moral cognition: exploring the connections», *Trends in Cognitive Sciences* 9, 357-359.

KNUDSEN, E. I. y BRAINERD, M. S. (1995): «Creating a unified representation of visual and auditory space in the brain», *Annu. Rev. Neuroscience* 18, 19-43.

KOELSCH, S. y SIEBEL, W. A. (2005): «Towards a neural basis of music perception», *Trends in Cognitive Sciences* 9, 578-584.

KOESFELD, M.; HEINRICHS, M.; ZAK, P. J.; FISCHBACHER, U. y FEHR, E. (2005): «Oxytocin increased trust in humans», *Nature* 435, 673-676.

KÖHLER, W. (1989): *Experimentos sobre la inteligencia de los chimpancés*, Debate, Madrid.

KOLB, B. y WHISHAW, I. Q. (1986): *Fundamentos de Neuropsicología Humana*, Labor, Madrid-Barcelona.

KOSTOVIC, I. (1990): «Structural and histochemical reorganization of the human prefrontal cortex during perinatal and postnatal life». En: H. B. M. Huylings; C. G. Van Eden; J. P. C. De Bruin; M. A. Corner y M. G. P. *Progress in Brain Research*. Feenstra (eds.), Elsevier Science Publ. 85.

KRANTZ, G. S. (1968): «Brain size and hunting ability in earliest man», *Current Anthropology* 9, 450-451.

KRINGELBACH, M. L. (2005): «The human orbitofrontal cortex: linking reward to hedonic experience», *Nature Reviews Neuroscience* 6, 691-792.

KRINGLEN, E. y CRAMER, G. (1989): «Offspring of Monozygotic Twins Discordant for Schizophrenia», *Arch. Gen. Psychiatry* 46, 873-877.

KUPFERMANN, I. (1991): «Localization of Higher Cognitive and Affective Functions: The Association Cortices». En: E. R. Kandel; J. H. Schwartz y T. M. Jessell (eds.), *Principles of Neural Science*, 3.ª ed., Appleton Lange, 823-838.

LAÍN ENTRALGO, P. (1996): *Idea del Hombre*, Círculo de Lectores, Madrid.

LASLETT, P. (ed.) (1968): *The Physical Basis of Mind: A series of Broadcast Talks*, Basil Blackwell, Oxford.

LAWSON, E. T. (1999): «Religious Ideas and Oractice». En: R. Wilson y F. C. Keil (eds.), *Encyclopedia for Cognitiva Science*, 720-722, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

— y MCCAULEY, R. N. (1990): *Rethinking Religion: Connecting Cognition and Culture*, Cambridge University Press.

LE DOUX, J. (1996): *The Emotional Brain*, Simon and Schuster, Nueva York.

— (1999): *El cerebro emocional*, Ariel, Barcelona.

—; DEBIEC, J. y MOSS, H. (eds.) (2003): «The self from soul to brain», *Ann. New York Acad. Science*, 1001.
LIBET, B. (1990): *Models for brain function*. En: M. J. Coterill (ed.), Cambridge University Press, 35-49.
LIM, M.; METZLER, R. y BAR-YAM, Y. (2007): «Global pattern formation and ethnic/cultural violence», *Science* 317, 1540-1544.
LIVINGSTONE, M. (2002): *Vision and Art: The biology of seeing*, H. N. Abrams, Nueva York.
LLINÁS, R. (2001): *I of the vortex*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
— y CHURCHLAND, P. S. (1996): *The brain-mind continuum*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
LOEWENSTEIN, G. (2006): «The pleasures and pains of information», *Science* 312, 704-706.
LOCKE, J. (2002): *Compendio de ensayo sobre el entendimiento humano*, Alianza Editorial, Madrid.
LURIA, A. R. (1973): *The man with a shattered world*, Jonathan Cape, Londres.
MANOLI, D. S.; MEISSNER, G. W. y BAKER, B. S. (2006): «Blueprints for behaviour: genetic specification of neural circuitry for innate behaviours», *Trends Neuroscience* 29, 444-451.
MARCUS, S. J. (2002) (ed.): *Neuroethics. Mapping the field*, Conference Proceedings, Dana Press, Nueva York.
MARGULIS, L. y SAGAN, D. (1996): *¿Qué es la vida?* Metatemas 45, Tusquets, Barcelona.
MAS-COLLEL, A.; WHINSTON, M. D. y GREEN, J. R. (1995): *Microeconomic Theory*, Oxford University Press.
MATSAS, R. (1997): «Genes Controlling neural fate and Differentiation», *Adv. Exp. Med. Biol.* 429, 3-17.
MCCABE, K.; HOUSER, D.; RYAN, L.; SMITH, V. y TROUARD, T. (2001): «A functional imaging study of cooperation in two-person reciprocal exchange», *PNAS* 98, 11832-11835.
MCCLURE, S. M.; LAIBSON, D. L.; LOEWENSTEIN, G. F. y COHEN, D. (2004): «Separate neural systems value. Immediate and delayed monetary rewards», *Science* 306, 503-507.
MCCONNELL, A. y LEIBOLD, J. (2001): «Relations among implicit association test, discriminatory behavior and explicit measures of racial attitudes», *J. Exp. Social Psychol*. 37, 435-442.
MCKERN, T. W. y MCKERN, S. (1969): *Human Origins. An Introduction to Physical Anthropology*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.
MCNEIL, T. (1971): «Prebirth and postbirth influence on the relationship between creative ability and recorded mental illness», *Journal of Personality* 39, 391-406.
MILLER, E. K. (2000): «The prefrontal cortex and cognitive control», *Nature Reviews Neuroscience* 1, 59-65.

MILLER, G. (2007): «A surprising connection between memory and imagination», *Science* 315, 312.
MITHEN, S. (2005): *The prehistory of the Mind. A search for the origins of Art, Religion and Science*, Phoenix, Londres.
MOENSSENS, A. A. (2002): «Brain fingerprinting: can it be used to detect the innocence of persons charged with a crime?», *UMKC Law Review* 70, 891-920.
MOLL, J.; DE OLIVEIRA-SOUZA, R.; BRAMETI, I. E. y GRAFMAN, J. (2002): «Functional Networks in emotional, moral and nonmoral social judgments», *Neuroimage* 16, 696-703.
—; ZAHN, R.; DE OLIVEIRA-SOUZA, R.; KRUEGER, F. y GRAFMAN, J. (2005): «The neural Basis of human moral cognition», *Nature Reviews Neuroscience* 6, 799-809.
MONOD, J. (1971): *El azar y la necesidad*, Barral, Barcelona.
MOORE, G. F. (1997): *Principia Etica*, UNAM, México.
MORA, F. (1991): «J. C. Eccles: Reflexiones sobre una conversación olvidada», *Claves de Razón Práctica* 16, 68-72.
— (1992): «Vernon Mountcastle: El hombre como producto de su propio cerebro», *Claves de Razón Práctica* 23, 76-80.
— (1993): «David Hubel: Los caminos visuales del cerebro», *Claves de Razón Práctica* 36, 68-71.
— (1996): «Neurociencias: Una nueva perspectiva de la naturaleza Humana». En: F. Mora (ed.), *El cerebro íntimo*, Ariel, Barcelona.
— (1997): «Cerebro y placer». En: J. Botella y F. Mora (eds.), *¿Cómo funciona el cerebro?*, Universidad de Valladolid, 23-36.
— (1998): «Cerebro y mente». En: F. Mora, J. M. Segovia de Arana (eds.), *Desafíos del conocimiento ante el Tercer Milenio*, Fundación BSCH-Ediciones Nobel, Oviedo.
— (1998): «Los caminos cerebrales de la emoción y el placer». En: *Grandes temas de las Ciencias de la Vida*, 105-118. Fundación BSCH-Ediciones Nobel, Oviedo.
— (1999): «20 notas sobre la enfermedad de Parkinson». En: J. M. Segovia y F. Mora (coords.), *Aspectos evolutivos de las enfermedades*, Farmaindustria, Madrid, 143-153.
— (1999): «Envejecimiento cerebral». En: J. A. F. Tresguerres *et al.* (eds.), *Fisiología humana*, Interamericana-McGraw Hill, Madrid, 1159-1165.
— (ed.) (2000): *El cerebro sintiente*, Arie, Barcelona.
— (2000): «Genes, medio ambiente y cerebro: 23 notas y reflexiones». En: J. M. Segovia y F. Mora (coords.), *Constitucion genética y factores ambientales en medicina*, Farmaindustria, Madrid.
— (2000): «The Brain and the Mind». En: M. G. Gelder; J. J. López-Ibor y N. Andreasen (eds.), *The New Oxford Textbook of Psychiatry*, Oxford University Press.
— (2001): *¿Cómo funciona el cerebro?,* Alianza Editorial, Madrid.
— (2003): *El sueño de la inmortalidad*, Alianza Editorial, Madrid.
— (2004): *¿Enferman las mariposas del alma?,* Alianza Editorial, Madrid.
— (2004): *Esplendores y miserias del cerebro*, FSCH, Madrid.

— (2005): *¿Cómo funciona el cerebro?,* Alianza Editorial, Madrid.
— (2005): *El reloj de la sabiduría*, Alianza Editorial, Madrid.
— (2006): *Los laberintos del placer en el cerebro humano*, Alianza Editorial, Madrid.
— (2007): *Neurocultura*, Alianza Editorial, Madrid.
— (ed.) (1996): *El cerebro íntimo*, Ariel, Barcelona.
— (ed.) (1995): *El problema cerebro-mente*, Alianza Editorial, Madrid.
— y COBO, M. (1990): «The Neurobiological Basis of Prefrontal Cortex Self-stimulation: A Review and an Integrative Hypothesis». En: H. B. M. Huylings; C. G. Van Eden, *et al.* (eds.), *Prefrontal cortex, its function, structure and plasticity*, Progress in Brain Res. 85, 419-431.
— y PEÑA, A. (1998): «Desarrollo cerebral y adolescencia». En: J. M. Segovia de Arana, F. Mora (eds.), *Sociopatología de la Adolescencia*, Farmaindustria, Madrid.
— y SANGUINETTI, A. M. (1994): *Diccionario de Neurociencias*, Alianza Editorial, Madrid.
— y — (2004): *Diccionario de Neurociencia*, Alianza Editorial, Madrid.
— y SEGOVIA DE ARANA, J. M. (eds.) (1998): *Desafíos del conocimiento ante el Tercer Milenio*, Fundación BCH-Ediciones Nobel, Oviedo.
— y — (eds.) (2000): *Nuevos enigmas científicos*, Fundación BSCH-Ediciones Nobel, Oviedo.
MORA-SANGUINETTI, J. S. (2006): «Neuroeconomía. ¿En las fronteras de la investigación en economía?», *Estrategia Global* 15, 40-43.
MORENO, J. D. (2003): «Neuroethics: an agenda for neuroscience and society», *Nature Reviews Neuroscience* 4, 149-153.
MORRIS, R. G. M. (1996): «Learning, memory and synaptic plasticity: cellular mechanisms, network architecture and the recording of attended experience». En: *The lifespan development of individual: Behavioural, Neurobiological and Psychological perspectives,* Cambridge University Press, 139-160.
MOUNTCASTLE, V. B. (1975): «The view from within: Pathways to the study of perception», *John Hopkins Journal* 136, 109-131.
MRZLJAK, L.; UYLINGS, H. B. M.; VAN EDEN, C. G. y JUDAS, M. (1990): «Neuronal development in human prefrontal cortex in prenatal and postnatal stages». En: H. B. M Huylings; C. G. Van Eden; J. P. C. De Bruin; M. A. Corner y M. G. P. Feenstra (eds.), *Progress in Brain Research*, Elsevier Science, 85.
MULLER, F. y ÖRAHILLY, R. (1997): «Development of the Human Central Nervous System». En: S. U. Dani; A. Hori. y G. F. Walter (eds.), *Principles of Neural Aging*, Elsevier, Amsterdam.
MUSSER, G. (2005): «The climax of humanity», *Scientific American* 23, 25.
NAKAHARA, K. y MIYASHITA, Y. (2005): «Understanding intentions: Through the looking glass», *Science* 308, 644-645.
NELSON, R. J. y TRAINER, B. C. (2007): «Neural mechanisms of aggression», *Nature* 8, 536-545.
NEMOTO, S. y FINKEL, T. (2004): «Ageing and the mystery at Arles», *Nature* 429, 149-

152.
NEVILLE, H. J. y BAVELIER, D. (2000): «Specificity and Plasticity in Neurocognitive Development in Humans». En: *The New Cognitive Neuroscience*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 83-98.
NEWBERG, A.; D'AQUILLI, E. y RAUSE, V. (2001): *Why God wont go away. Brain Science and the biology of belief*, Ballantine Books, Nueva York.
OHZAWA, I. (1999): «Do animals see what we see?», *Nature Neuroscience* 2, 586-588.
OJEMAN, G. A. (1990): «Organization of languaje cortex derived from investigations during neurosurgery». En: A. R. Damasio (ed.), *Seminars in the neurosciences* 2, 297-305.
ORO, J. (1998): «Origen y Evolución de la Vida (Del hidrogeno al hombre)». En: F. Mora y J. M. Segovia de Arana (eds.), *Desafíos del conocimiento ante el Tercer Milenio,* Fundación BSCH-Ediciones Nobel, Oviedo.
ORTEGA Y GASSET, J.: *Obras Completas*, Alianza Editorial, Madrid.
— (1971): *Historia como Sistema*, Austral, Espasa Calpe, Madrid.
PADOA-SCHIOPPA, C. y ASSAD, J. A. (2006): «Neurons in the orbitofrontal cortex encode economic value», *Nature* 441, 223-226.
PANTIN, C. F. A. (1956): «The origin of the Nervous System», *Pubbl. Staz. Zool. Napoli* 28, 171-181.
PARKER, G. H. (1919): *The Elementary Nervous System*, J. B. Lippincott Co., Filadelfia.
PASSANO, L. M. (1963): «Primitive Nervous System», *Proc. N.A.S.* 50, 306-313.
PATTERSON, P. H. (2007): «Maternal effects on schizophrenia risk», *Science* 318, 576-577.
PAUS, T. (2001): «Primate anterior cingulate cortex: where motor control drive and cognition interface», *Nature Reviews Neuroscience* 2, 417-424.
PENFIELD, W. y RASMUSSEN, T. (1957): *The cerebral cortex of man. A clinical study of localization of function*, McMillan, Nueva York.
— (1967): *The excitable cortex in conscious man*, Liverpool University Press, Liverpool.
— (1971): *The mistery of the mind*, Princeton University Press, N.J.
PENNISI, E. (1999): «Chimps in the wild show stirrings of Culture», *Science* 284, 2070-2076.
— (1999): «Are our primate cousins «conciouss»?», *Science* 284, 2073-2076.
PENROSE, R. (1991): *La nueva mente del emperador*, Mondadori, Madrid.
PHAN, K. L.; MAGALHAES, A.; ZIEMIEWICZ, T. J.; FITZGERALD, D. A.; GREENE, C. y SMITH, W. (2005): «Neural Correlates of telling lies: a functional magnetic resonance imaging stud at 4 tesla», *Acad. Radiol*. 12, 164-172.
PIAGET, J. (1971): *Psicología de la Inteligencia*, Psique, Buenos Aires.
PINKER, S. (2002): *The blank slate. The modern denial of human nature*, Penguin Books, Nueva York.
PLATON (1061): *The complete texts of great dialogues of Plato* (W.H.D. Rouse translation), New American Library, Nueva York.

PLUM, F. (1998): «The conscious brain: normal and abnormal Philosophical Transactions», *Biological Sciences* 353, 1799-1942.
POPPER, K. R. y ECCLES, J. C. (1980): *El Yo y su Cerebro*, Labor Universitaria, Barcelona.
POSNER, M. I. y RAICHLE, M. E. (1994): *Images of Mind*, Scientific American Library, HPHLP Nueva York.
PRIGOGINE, I. (1980): *From being to becoming. Time and complexity in the physical sciences*, Freeman, S. Francisco.
— (1997): *The end of certainty*, The Free Press, N.Y.
QUERVAIN, D. J. F.; FISCHBACHER, U.; TREYER,V.; SCHELHAMMER, M.; SCHNYDER, U.; BUCK, A. y FEHR, E. (2004): «The neural basis of altruistic punishment», *Science* 305, 1254-1258.
QUINE, W. V. O. (1953): *From a logical point of view*, Harvard University Press, Massachusetts.
RAMACHANDRAN, V. S. (2004): «Beauty or Brains?», *Science* 305, 779-781.
— y BLAKELSLEE, S. (1999): *Fantasmas en el cerebro*, Debate, Madrid.
— y HIRSTEIN, W. (1999): «The Science of Art. A neurological theory of aesthetic Experience», *Journal of Consciousness Studies* 6, 1-51.
RAMMANI, N. y OWEN, A. M. (2004): «Anterior prefrontal cortex: Insights into function from anatomy and neuroimaging», *Nature Reviews Neuroscience* 5, 184-194.
— y MIALL, Ch. (2004): «A system in the human brain for predicting the actions of others», *Nature Neuroscience* 7, 85-90.
RAMÓN Y CAJAL, S. (1966): *Charlas de café*, 9.ª ed., Austral, Espasa Calpe, Madrid.
— (1981): *Recuerdos de mi vida. Historia de mi labor científica*, Alianza Universidad, Madrid.
— (1992): *Textura del sistema nervioso del hombre y los vertebrados*, Imprenta y Librería de Nicolás Moya, Madrid 1904. Edición del Instituto de Neurociencias de Alicante. Herederos de Santiago Ramón y Cajal y Gráficas Vidal Leuka, S. L.
— (1972): «Absence de localisation des phenomenes psichiques superieurs: leur mechanisms possible». En: *Histologie del system nerveux de l'homme et des vertebres*, CSIC, Madrid (Edición original, Masson, París).
RAPOPORT, S. I. (1999): «How did the human brain evolve? A proposal based on new evidence from in vivo brain imaging during attention and ideation», *Brain Res. Bull.* 50, 149-165.
RAZ, A. y BUHLE, J. (2006): «Typologies of attentional networks», *Nature Reviews Neuroscience* 7, 367-379.
RIZZOLATTI, G.; FOGASSI, L. y GALLESE, V. (2001): «Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action», *Nature Review Neuroscience* 2, 661-670.
ROBBINS, L. C. (1984): *An essay on the nature and significance of economic science*, Nueva York, University Press.
ROBBINS, R. W. (2005): «The nature of personality: Genes, culture and national

character», *Science* 310, 62-63.
RODER, G.; ROSLER, F. y HENNIGHAUSEN, E. (1997): «Different cortical activation patterns in blind and sighted humans during encoding and transformation of haptic images», *Psychophysiology* 34, 292-307.
ROLLS, E. T. (1999): *The Brain and Emotion*, Oxford University Press, Oxford.
— (2007): *Emotion Explained*, Oxford University Press, Oxford.
ROMER, A. S. (1970): «The Nervous System. En: *The Vertebrate Body*, W. B. Saunders, Filadelfia, 477-528.
RORIE, A. E. y NEWSOME, W. T. (2005): «A general mechanism for decision-making in the human brain?», *Trends in Cognitive Sciences* 9, 41-43.
ROSE, S. P. R. (1997): *Lifelines*, Oxford University Press, Oxford.
— (ed.) (1998): *From Brains to Conciousness? Essays on the New Science of Mind*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey.
— (1980): «Can the neurosciences explain the mind?», *Trends in Neuroscience* 3, 1-4.
— (1992): *The making of memory*, Bantam.
— (1993): «Synaptic Plasticity, Learning and Memory». En: M. Baudry; R. F. Thompson y J. L. Davis (eds.), *Synaptic Plasticity Molecular, Cellular and Functional aspects*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
ROSKIES, A. (2002): «Neuroethics for the New Millenium», *Neuron* 35, 21-23.
ROWE, A. D.; BULLOCK, P. R.; POLKEY, Ch. E. y MORRIS, R. G. (2001): ««Theory of mind» impairments and their relationship to executive functioning following frontal lobe excisions», *Brian,* 600-616.
RUFF, C. B.; TRINKAUS, E., HOLLIDAY, T. W. (1997): «Body Mass and Encephalization in Pleistocene Homo», *Nature* 387, 173-176.
RUSE, M. (2003): «Is evolution a secular religion?», *Science* 299, 1523-1524.
RUSSELL, R. J., MURPHY, N.; MEYERING, T. C. y ARBIB, M. A. (eds.) (1999): *Neuroscience and the person. Scientific perspectives on divine action*, Vatican Observatory Publ., Ciudad del Vaticano.
RUSTICHINI, A. (2005): «Emotion and Reason in Making Decision», *Science* 310, 1624-1625.
RYLE, G. (1949): *The concept of the Mind*, University of Chicago Press.
— (1968): *The physical basis of mind: a phylosophers symposium. A series of broadcast talks*, Peter Lasslett (ed.), Basil Blackwell, Oxford.
SACHS, J. D. (2004): «Sustainable development», *Science* 304 (Editorial).
SADATO, N.; PASCUAL-LEONE, A.; GRAFMAN, J.; IBÁÑEZ, V.; DEIBER, M. P.; DOLD, G. y HALLET, M. (1996): «Activation of the primary visual cortex by braille reading in blind subjects», *Nature* 380, 526-528.
SANFEY, A. G.; LOEWENSTEIN, G.; MCCLURE, S. M. y COHEN J. D. (2006): «Neuroeconomics: cross-currents in research on decision-making», *Trends in Cognitive Sciences* 10, 108-116.
—; RILLING, J. M.; ARONSON, J. A; NYSTROM, L. E. y COHEN, J. D. (2003): «The neural basis of economic decision-making in the ultimatum game», *Science* 300, 1755-1758.

SANMARTÍN, J. (2000): *La violencia y sus claves*, Ariel, Barcelona.
SASAKI, Y.; VANDUFFEL, W.; KNUTSEN, T.; TYLER, C. y TOOTELL, R. (2005): «Symmetry activates extrastriate visual cortex in human and nonhuman primates», *PNAS* 8, 3159-3163.
SAVER, J. L. y RABIN, J. (1997): «The neural substrates of religion experience», *Journal Neuropsych. Cl. Neuroscience* 9, 498-510.
— y DAMASIO, A. R. (1991): «Preserved access and processing of social knowledge in a patient with acquired sociopathy due to ventromedial frontal damage», *Neuropschologie* 29, 1241-1249.
SAXE, R. y KANWISHER, N. (2003): «People thinking about thinking people. The role of the temporo-parietal junction in "theory of mind"», *Neuroimage* 19, 1835-1842.
SCHRODINGER, E. (1951): *Science and Humanism: Physics in Our Time*, Cambridge, University Press.
SCHWARTZ, D. y COLLINS, F. (2007): «Environmental biology and human disease», *Science* 316, 695-696.
SCIENTIFIC AMERICAN (ed.) (1999): *The Scientific American Book of the Brain*, Nueva York.
SCOTT, S. K.; YOUNG, A. W.; CALDER, A. J. y HELLAWELL, D. J. (1997): «Impaired auditory recognitions of fear and anger following bilateral amygdala lesion», *Nature* 385, 254-257.
SEARLE, J. R. (1998): «How to study consciousness scientifically», *Brain Res. Rev*. 26, 379-387.
SELDES, G. (1928): *The Stammering Century*, Day, Nueva York.
SHEPHERD, G. M. (1979): *The synaptic organization of the brain*, Oxford University Press, Oxford.
—; MISKI, J. S.; HEALY, M. D.; SINGER, M. S. y SHERMER, M. (2006): «Believing in Belief», *Science* 311, 471-472.
SHERRINGTON, Ch. (1975): *Man on his nature*, Cambridge University Press, Cambridge.
SIMON, H. A. (1967): «Motivational and emotional controls of cognition», *Psychological Review* 74, 29-39.
— (1990): «A mechanism for social selection and successful altruism», *Science* 250, 1665-1668.
SINGER, T.; SEYMOUR, B.; O'DOHERTY, J. P.; STEPHAN, K. E.; DOLAN, R. J. y FRITH, Ch. D. (2006): «Empathic neural responses are modulated by the perceived fairness of others», *Nature* 439, 466-469.
SINGER, W. (1980): «Consciousness and the structure on neuronal representations». En: F. Plum (ed.), *The Consciouss Brain: Normal and Abnormal Philosophical transactions*. *Biological Science* 353, 1829-1840.
— (1996): «Neuronal Synchronization: A solution to the Binding problem?». En: R. Llinas, P. S. Churchland (eds.), *The brain-mind continuum*, 101-130, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
SKINNER, B. F. (1972): *Mas allá de la libertad y la dignidad*, Fontanella, Barcelona.

SKONFOS, E.; HINES, M. S.; NADKARNI, P. M. y MILLER, P. L. (1998): «The Human Brain Project: Neuroinformatics tools for integrating searching and modelling multidisciplinary neuroscience data», *TINS* 21, 460-467.
SMITH, C. L. (2000): «The large Hadron Coller will be a particle accelerator of unprecedented energy and complexity, a global collaboration to uncover an exotic new layer of reality», *Scientific American*, julio, 71-77.
SNOW, P. C. (1998): *The Two Cultures*, Cambridge University Press.
SPERBER, D. (1996): *Explaining Culture: A Naturalistic Approach*, Blackwell.
SPERRY, R. W. (1983): *Science and moral priority. Merging mind, brain and human values*, Columbia University Press, Nueva York.
SPITZ, R. A. (1945): «Hospitalism. A follow-up report of investigation described in Vol. I», *Psychoanal, Study Child* 2, 113-117.
SPITZ, R. A. (1945): «Hospitalism: An inquiry into the genesis of psychiatric conditions in early chilhood», *Psychoanal. Study Child* 1, 53-74.
SPITZER, N. C. (1999): «New dimensions of neuronal plasticity», *Nature Neuroscience* 2, 489-491.
STEVENSON, L. (1998): *Ten Theories of Human Nature*, Oxford University Press.
— (2000): *The Study of Human Nature*, Oxford University Press.
STEWART-WILLIAMS, S. (2005): «Innate ideas as a naturalistic source of metaphysical knowledge», *Biol. Philos*. 20, 791-894.
SUDDATH, R. L.; CHRISTON, G. W.; FULLER TORREY, E.; CASANOVA, M. F. y WEINBERG, D. R. (1990): «Anatomical abnormalities in the brains of monozygotic twins discordant for schizophrenia», *N. Engl. J. Med*. 322, 789-794.
SUDDENDORF, T. (2006): «Foresight and evolution of the human mind», *Science* 312, 1006-1007.
SUGRUE, L. P.; CORRADO, G. S. y NEWSOME, W. T. (2004): «Matching behaviour and the representation of value in the parietal cortex», *Science* 304, 1782-1787.
—; — y — (2005): «Choosing the greater of two goods: neural currencies for valuation and decision making», *Nature Neuroscience* 6, 363-375.
SWANSON, L. W. (2000): «What is the brain?», *TINS* 23, 519-527.
SYMONS, D. (1979): *The evolution of human sexuality*, Oxford University Press, Oxford.
TEILHARD DE CHARDIN, P. (1958): *La aparicion del hombre*, Taurus, Madrid.
TENG, E. y SQUIRE, L. S. (1999): «Memory for places learned long ago is intact after hippocampal damage», *Nature* 400, 675-677.
TOBBY, J.; COSMIDES, L. y CLARK BARRET, H. (2005): «Resolving the debate on innate ideas». En: P. Carruthers, S. Laurence y S. Stick (eds.), *The innate mind: structure and content,* Oxford University Press, Nueva York, capítulo 8, 305-337.
TOBIAS, P. V. (1997): «Evolution of Brain Size, Morphological Restructuring and Longevity in Early Hominids». En: S. U. Dani, A. Hori y G. F. Walter (eds.), *Principles of Neural Aging*, Elsevier, Amsterdam.
— (1971): *The Brain in Hominid Evolution*, Columbia University Press, Nueva York-Londres.

— (1995): «The Brain of the first hominids». En: J. P. Changeux y J. Chavaillon (eds.), *Origins of the Human Brain*, Clarendon Press, Oxford.
— (1981): «The Emergence of man in Africa and beyond», *Phil. Trans. R. Soc. Lond*, B292, 43-56.
TOMASELLO, M. (2000): *The culture origins of Human Cognition*, Harward University Press, Cambridge, Massachusetts.
TOMLIN, D.; KAYALI, M. A.; KING-CASAS, B.; ANEN, C.; CAMERER, C. F.; QUARTZ, S. R. y MONTAGUE, P. R. (2006): «Agent-Specific responses in the cingulate cortex during economic exchanges», *Science* 312, 1047-1050.
TONG, F. (2003): «Out-of-body experiences: from Penfield to present», *Trends in Cognitive Science* 7, 104-106.
TONONI, G. y EDELMAN, G. M. (1998): «Consciousness and Complexity», Science 282, 1846-1851.
— y EDELMAN, G. M. (2000): «Schizophrenia and the mechanisms of conscious integration», *Brain Research Reviews*, 31, 391-400.
TRANEL, D.; DAMASIO, A. R.; DAMASIO, H. y BRANDT, J. P. (1994): «Sensorimotor Skill Learning in Amnesia: Additional Evidence for the Neural Basis of Nondeclarative Memory», *Learn. Mem.* 1, 165-179.
TRIGG, R. (1999): *Ideas of Human Nature*, Blackwell, Oxford.
TSAO, D. Y.; FREIWALD, W. A.; TOOTELL, R. B. H.; LIVINGTONE, M. S. (2006): «A cortical region consisting entirely of face-selective cells», *Science* 311, 670-674.
VARELA, J. F. (1992): *Autopoiesis and biology of intentionality*, CREA, CNRS Ecole Politechnique, París, 4-14.
VARGAS LLOSA, M. (1995): «La odisea de Karl Popper». En: *Homenaje a Karl Popper*, Papeles de la Fundación para el análisis y los Estudios Sociales, Madrid, 17-60.
VARIAN, H. R. (1992): *Microeconomic analysis*, W. W. Norton and Co.
VITRUVIO (2004): *Los diez libros de Arquitectura*, Alianza Editorial, Madrid.
VOGEL, G. (1999): «Chimps in the wild show stirrings of culture», *Science* 284, 2070-2073.
VON NEUMAN, J. (1963): «Probabilistic logic and the synthesis of reliable organisms for unreliable components». En: *Collected Works*, vol. 5, Londres, Pergamon Press, 329-378.
VON SENDEN, M. (1932): *Raum und gestaltauffassung bei operierten Blindgerorenen vor und nach der Operation*, Barth, Leipzig.
WAAL, F. B. M. (1999): «Cultural primatology comes to age», *Nature* 399, 635-636.
— (2001): *The ape and the sushi master. Cultural reflexions from a primatology*, The Penguin Press, Londres.
— (2001): *Tree of Origin: what Primate Behavior Can Tell us about human social evolution*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
— (2005): «How animals do business», *Scientific American*, abril, 55-61.
— (1999): «Cultural primatology comes to age», *Nature* 399, 635-636.
— y LANTING, F. (1996): *Bonobo. The forgotten Ape*, University of California Press, Los

Ángeles.
WALKER, A.; LEAKEY, R. E.; HARRIS, J. M. y BROWN, F. H. (1986): «2,5-Myr Australopithecus boisei from west of Lake Turkana, Kenya», *Nature* 322, 717-522.
WHITEN, A.; GOODALL, J.; MCGREW, W. C.; NISHIDAS, T.; REYNOLDS, V.; SUGIYAMA, Y.; TUTIN, C. E. G.; WRANGHAN, R. W. y BOESCH, C. (1999): «Cultures in Chimpanzees», *Nature* 399, 682-685.
WILLIAMS, Z. M.; BUSH, G.; RAUCH, S. L.; COSGROVE, G. R. y ESKANDAR, E. N. (2004): «Human anterior cingulate neurons and the integration of monetary reward with motor responses», *Nature Neuroscience* (on line doi: 10.1038/nn1354).
WILSON, E. O. (1978): *On human nature*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
— (1998): *Consilience. The unity of knowledge*, Alfred A. Knopf, Nueva York.
— (1978): *On Human Nature*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
WINSTON, J. S.; STRANGE, B. A.; O'DOHERTY, J. y DOLAN, R. J. (2002): «Automatic and intentional brain responses during evaluation of trustworthiness of faces», *Nature Neuroscience* 5, 277-283.
WISE, R. (1996): «Nacimiento de una biología del lenguaje», *Mundo Científico* 172, 844-853.
WITTKOWER, R. (2002): *Los fundamentos de la arquitectura en la edad del humanismo*, Alianza Editorial, Madrid.
WOLPE, P. R. (2004): «Ethics and social policy in research on the neuroscience of human sexuality», *Nature Neuroscience* 7, 1031-1033.
YAKOLEV, P. I. y LECOURS, A. R. (1967): «The myelogenetic cycles of regional maturation of the brain». En: A. Minkowski (ed.), *Regional development of the brain in early life*, F. A. Davis, Filadelfia.
YOUNG, Z. J. (1978): *Programms of the Brain*, Oxford University Press, Oxford.
ZEKI, S. (1993): *A vision of the brain*, Blackwell Scientific Publications.
— (1995): *Inner Vision*, Oxford University Press, Oxford.
— (1995): *Una visión del cerebro*, Ariel, Barcelona.
— (1999): *Inner Vision: an exploration of Art and the brain*, Oxford University Press, Oxford.
— (1999): «Art and the Brain». *Journal of Consciousness Studies* 6, 76-96.
— (2001): «Artistic Creativity and the Brain», *Science* 293, 51-52.
— (2002): «Trying to make sense of art», *Nature* 418, 918-919.
— (2004): «Formación del concepto neural del arte: Dante, Miguel Ángel y Wagner». En: F. Mora (ed.), *Esplendores y miserias del cerebro*, FSCH, Madrid.
— (2004): «Neural Correlates of Beauty», *Journal of Neuroscience* 91, 1699-1705.
— (2004): «Esplendores y miserias del cerebro». En: F. Mora y J. M. Segovia de Arana (eds.), *Nuevos desafíos del conocimiento*, Fundacion BSCH-Ediciones Nobel, Oviedo.
— (2006): *Law and the Brain*, Oxford University Press, Oxford.
ZIGMOND, M. J.; BLOOM, F. E.; LANDIS, S. C.; ROBERTS, J. L. y SQUIRE, L. R. (1999):

Fundamental Neuroscience, Academic Press, San Diego.
ZIMMER, C. (2005): «The neurobiology of the self», *Scientific American*, noviembre, 65-71.
ZUCKER, R. S. (1999): «Calcium-and activity-dependent synaptic plasticity», *Cur. Op. Neurobiol*. 9, 305-313.

Edición en formato digital: 2014

© Francisco Mora Teruel, 2001, 2008
© Alianza Editorial, S. A. Madrid, 2014
Calle Juan Ignacio Luca de Tena, 15
28027 Madrid
alianzaeditorial@anaya.es

ISBN ebook: 978-84-206-8937-1

Está prohibida la reproducción total o parcial de este libro electrónico, su transmisión, su descarga, su descompilación, su tratamiento informático, su almacenamiento o introducción en cualquier sistema de repositorio y recuperación, en cualquier forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, conocido o por inventar, sin el permiso expreso escrito de los titulares del Copyright.

Conversión a formato digital: calmagráfica

www.alianzaeditorial.es

Índice

Prólogo a esta edición 7
Prólogo 9
A modo de introducción. El reloj de la sabiduría 11
1. El cerebro humano. Casi mil millones de años de historia evolutiva 16
Al principio fue la célula 16
Los códigos del sistema nervioso ya se encuentran en la célula 17
La protoneurona 17
Evoluciones paralelas 19
Un ensayo de cerebro 19
El origen del cerebro o cómo acertar con un modelo 20
El cerebro deja atrás al cuerpo 21
¿Qué es el cociente de encefalización? 22
Temperatura, olfato y oído 23
¿Evolución o revolución? 25
¿Por qué una esfera y no un cilindro? 25
La segunda gran revolución del cerebro 26
Calor, memoria y cultura 27
Progresión, regresión y reorganización del cerebro humano 29
¿Ha concluido la evolución física del cerebro humano? 31
2. La construcción del cerebro humano. Cien años de historia individual 33
De la incertidumbre a la singularidad 34
Pero... ¿sabemos qué es un gen? 35
El medio ambiente no es sólo sol y aire 35
El medio ambiente se torna morfología y función 36
La formación del cerebro humano: una aventura 37
Cerebro por fuera 38
Cerebro por dentro 38
Las neuronas emigran desde sus lugares de nacimiento 39
Somos muchas, organicémonos 40
El cincel del escultor 41

¿Envejece el cerebro? 43
Al final, algo más sobre genes y medio ambiente 44
3. Las ventanas plásticas o los tiempos críticos del desarrollo del cerebro humano 46
Un primer encuentro con el mundo 47
Las ventanas que nos abren al mundo de los sentidos 48
Las ventanas de compensación 49
El encendido de la conducta 50
Los niños que hablaban el idioma de Dios 51
Un niño llamado Johan 51
Genie 52
Los tiempos del computador motor 53
Los tiempos críticos de la adolescencia 54
Las ventanas de la enfermedad 55
Los genios 55
Llegando a alguna conclusión 57
4. Emoción o planificación de la supervivencia 59
Definamos qué son emociones y sentimientos 60
Emoción y comunicación 61
Sentimientos y perplejidad 62
Los siete mandamientos de las emociones (Rolls, 1999; Mora, 2000) 62
Rastreando los caminos cerebrales de la emoción 63
Del ojo al análisis de la corteza cerebral 64
De cómo un objeto visto se torna bueno o malo 65
El interior de la «máquina» emocional 67
El fuego emocional 69
La conciencia emocional de lo divino 70
5. La mente es el tejido cerebral cosido con hilos de tiempo 73
El problema 73
Un paréntesis 74
El cerebro produce la mente: los inicios 75
La mente es el cerebro 76
¿Qué dice la Neurociencia actual acerca de la mente? Una primera aproximación 77
La piedra Roseta 79
Un intento científico de unificación 80

A la búsqueda de los tiempos de la mente 83
«Abajo-arriba», «arriba-abajo» 85
Un final entre cilindros y columnas 85
6. Los tiempos cerrados y los espacios abiertos de la conciencia 87
Problemas fáciles y problemas difíciles 87
Los considerandos filosóficos de Searle o cómo estudiar la conciencia científicamente 89
Una reflexión 91
Los cinco presupuestos de Crick o cómo anclar la conciencia al cerebro 93
Algunos considerandos sobre el tiempo, el espacio y la conciencia. De lo único y singular a lo diverso y diferente 95
De la conciencia sensorial a la conciencia emocional 96
Circuitos cerebrales y conciencia: la visión como ejemplo 98
Los tiempos cerrados y los espacios abiertos de la conciencia: las hipótesis de Crick, Edelman y Llinás 99
7. La teoría del conocimiento unificado 104
Niveles, puentes y emergencias 104
El agua es un buen ejemplo 105
Niveles elementales 106
De más abajo a más arriba 108
El proyecto cerebro humano 109
Reconsiderando la organización de niveles: un paréntesis 111
De las Ciencias a las Humanidades 113
Hacia la unificación del conocimiento 114
8. Lo que nos enseña el cerebro: del «conócete a ti mismo» al «hazte a ti mismo» 117
De conocer a construir 117
Los cambios y los recambios del cerebro 119
Yo medito, yo cambio 120
Algunas reglas de oro 120
9. ¿Qué nos hace humanos? 122
¿Qué nos hace humanos? 122
Mirando hacia atrás 122
Ser los otros 124
Ciencia y cultura 126

Mirando hacia arriba 126
10. Y más allá 129
Glosario 135
Bibliografía 148
Créditos 170